

Puuhakekompostori

Automaatio- ja mittausjärjestelmän suunnittelu

Ville Riuttamäki

Opinnäytetyö

Huhtikuu 2016

Tekniikan ja liikenteen ala

Insinööri (AMK), energiatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä(t) Riuttamäki, Ville	Julkaisun laji Opinnäytetyö, AMK	Päivämäärä 15.04.2016
	Sivumäärä 81	Julkaisun kieli Suomi
		Verkkojulkaisulupa myönnetty: X
Työn nimi Puuhakekompostori Mittaus- ja automaatiojärjestelmän suunnittelu		
Tutkinto-ohjelma Energiatekniikka		
Työn ohjaaja(t) Häkkinen Veli-Matti, Miia Jämsén		
Toimeksiantaja(t)		
<p>Tiivistelmä</p> <p>Kompostointi on hapellisissa olosuhteissa tapahtuvaa kasvi- ja pieneliötoimintaa. Pieneliöt käyttävät kompostorin ravinteita elääkseen. Pieneliöt saavat aikaan hajoamisen, jossa syntyy hiilidioksidia, lämpöä, vesihöyryä, ravinnesuoloja ja humusta.</p> <p>Kompostoitaaessa orgaanista materiaalia lämpötila nousee kompostoitumisvaiheesta riipuen 30-80°C lämpötilaan. Lämmön poistaminen kompostorista vaikuttaa hajoamisen tilaan sitä häiritsevästi. Mikäli kompostori pidetään 35°C lämpötilassa, pystyy se edelleen jatkamaan hajottamisprosessiaan, mutta siitä pystytään ottamaan eroon kompostin toiminnalle tarpeetonta lämpöä. Laitteiston tarkoituksena on selvittää kompostoitumisen energiapotentiaali.</p> <p>Teoreettisen pohjaselvityksen pohjalta on suunniteltu laitteisto ja sen tarvitsema automaatio. Mittaus- ja automaatiojärjestelmällä kompostin toimintaa päästään havainnoimaan, ohjaamaan ja optimoimaan.</p> <p>Suunnittelun lähtökohtana on täysautomaattinen automatisoitu ohjaus, joka on operoitavissa manuaalisesti ja tarvittaessa käyttökytkimillä myös paikallisesti. Laitteisto on etäkäytettävissä mistä tahansa internetistä valvomo-ohjelmiston kautta. Kerätty tieto esitetään valvomo-ohjelmistossa graafisesti ja tallennetaan logiikalle, josta se on noudettavissa analysoitavaksi Excel-muodossa.</p> <p>Työn tärkein saavutus oli automaation luominen.</p>		
Avainsanat (asiasanat)		
Komposti, kompostori, automaatio, myRio, Labview		
Muut tiedot		

Author(s) Riuttamäki, Ville	Type of publication Bachelor's thesis	Date 15.04.2016
		Language of publication: Finnish
	Number of pages 81	Permission for web publication: X
Title of publication Wood chip compost Measurement and automation system design		
Degree programme Degree Programme in Energy Technology		
Supervisor(s) Häkkinen, Veli-Matti; Jämsén, Miia		
Assigned by		
<p>Abstract</p> <p>Composting is a process that happens in aerobic conditions by plant and micro-organisms. Micro-organisms use the nutrients of the compostable material to live. As result of this disintegration by micro-organisms carbon dioxide, heat, water vapor, nutritive salts and humus is formed.</p> <p>In composting organic material, the temperature rises up to 30-80 °C depending on the phase of composting disintegration. Removing heat from the compost disturbs disintegration. If temperature in the compost is kept at 35 °C, disintegration can continue, and it is possible to get rid of the unnecessary heat, without disturbing the disintegration process. The main objective is to find out the energy potential in composting.</p> <p>Based on theoretical study, hardware and automation is designed. The measurement and automation can be used to observe, control and optimize the composting operation.</p> <p>The starting point for the design process is a fully automatic control, which can be operated manually and, if necessary, operating the switches locally. The automation equipment is remote controlled, from anywhere via the Internet using monitoring software. The data collected is graphically viewed and stored in logic and is analyzed in Excel format.</p> <p>The most important achievement of this work was the creation of the automation system.</p>		
Keywords/tags (subjects)		
Compost, automation, myRio, Labview		
Miscellaneous		

Sisältö

1	Johdanto.....	8
2	Työn tavoite.....	10
3	Puupohjaisen kompostin toiminta.....	10
3.1	Ravinto.....	12
3.2	Happi	14
3.3	Kosteus	16
3.4	Lämpö	16
3.5	Puuperäisen materiaalin lämpöarvo	19
4	Puuhakekompostorin suunnittelu.....	19
4.1	Runkorakenne	20
4.2	Lämmönvaihtimet	26
4.3	Toimintaperiaate	36
5	Automaatio.....	39
5.1	NI myRIO.....	39
5.2	Suunnittelu	42
5.3	Positointi.....	43
5.4	Vastus, resistori	44
5.5	NTC-vastus, termistori.....	47
5.6	Relekortit	49
5.7	Ulkoiset relet	52
5.8	KytKentä.....	54
5.9	Kiertovesipumppu	55
5.10	Poistovesipumppu	56
5.11	Lämmitysvastus	56
5.12	Ilmastus	57
5.13	Merkkivalot.....	57

5.14	Labview.....	60
5.15	Kompostorin ohjaus	61
5.16	Kompostorin ohjelma.....	62
5.16.1	Aika ja päivämäärä.....	62
5.16.2	Mittaukset	63
5.17	Laskenta.....	64
5.17.1	Releohjaukset	67
5.17.2	Energia	70
5.17.3	Tallennus.....	72
5.17.4	Muita piirejä	73
6	Kustannukset.....	74
7	Pohdinta	75
7.1	Logiikka	76
7.2	Lämmönvaihtimet	77
7.3	Yhteenveto ja tulokset	78
	Lähteet.....	80

Kuviot

Kuvio 1. Kompostin eliöstöä. (Eloperäinen aines hajoaa maassa, Ruokatieto).....	11
Kuvio 2. Kompostin teoreettinen lämpötilaprofiili ja lämmöntalteenottopotentiali ajan funktiona.	18
Kuvio 3. Kompostin rakenne Autocad Inventor	21
Kuvio 4. Finnfoam levyä ja PEX putkea.	23
Kuvio 5. Kompostin rakenne.	24
Kuvio 6. Tyhjennyslaatikon pellityksen suunnittelua.....	25
Kuvio 7. Kompostin pellitetty tyhjennyslaatikko.	25
Kuvio 8. Lämmönvaihtimet	26
Kuvio 9. Ulkolämmönvaihtimen ”sampluunat”.	28
Kuvio 10. Uloimmat lämmönvaihtimet rakennusvaiheessa.	29
Kuvio 11. Alumiinisuojan ponnistus.	30
Kuvio 12. Lämmönvaihdin, alumiinisuoja ja tuenta.	30
Kuvio 13. Ulompi lämmönvaihdin ja suoja-alumiini.	31
Kuvio 14. Lämmönvaihtimen suojaus.	32
Kuvio 15. Kompostin tyhjän rakenteen täyttö.	32
Kuvio 16. Kompostin tyhjän rakenteen täyttö.	33
Kuvio 17. Sisempi lämmönvaihdin ja ”sapluuna”	33
Kuvio 18. Sisälämmönvaihtimen kiinnityksen rakenne.....	34
Kuvio 19. Sisälämmönvaihdin asennettuna.	34
Kuvio 20. Sisälämmönvaihdin asennettuna.	35
Kuvio 21. Sisälämmönvaihdin asennettuna.	36
Kuvio 22. Kompostorin keskeiset laitteet valvomonäytöllä.....	36
Kuvio 23. Kompostorin lämpötilanmittaukset.	37
Kuvio 24. Kompostin säätöpiirit.	38
Kuvio 25. Ni myRIO. (User guide and specifications 2013, 1).	40
Kuvio 26 myRio toimintokaavio. (User guide and specifications 2013, 3).....	41
Kuvio 27. MXP- ja MSP- porttien kytkentä. (User guide and specifications 2013, 4,6)42	
Kuvio 28. Resistorin IEC- symboli. (Resistorguide, resistor. 2016).....	44
Kuvio 29. 10kΩ metallikalvovastus.....	45

Kuvio 30. Vastuksen värikooditaulukko. (Ahoranta, 2002, 75).....	46
Kuvio 31. NTC-10k Ω -termistori ja sen IEC-symboli.	47
Kuvio 32. NTC-vastuksen vastus lämpötilan funktiona. (NTC Thermistors. Vishay bcomponets. 2012.).....	47
Kuvio 33. Vastuksien ja NTC-antureiden kytkentä.....	49
Kuvio 34. Digilent High Current Adapter for myRIO.	50
Kuvio 35. DCA- relekortti. (High Current Adapter for NI myRIO. Digilent Inc.).....	51
Kuvio 36. Ledit ilmaisevat relen tilaa. Valo palaa relen ollessa vetäneenä.	52
Kuvio 37. Goodsky PI-35BE. (Socket illustration, PI-35BE. Impulse Automation Ltd)	52
Kuvio 38. Goodsky PI-35BE ja Schrack 12VDC rele.	53
Kuvio 39. Releet asennettuna ohjauspaneeliin.....	53
Kuvio 40. Kytkentä kompostorin automaatiota varten.	54
Kuvio 41. Kytkentäkaavio, relekortti A.....	55
Kuvio 42 Kytkentäkaavio, relekortti B.....	56
Kuvio 43. Taustavalot, mikään laite ei ole päällä.	58
Kuvio 44. Lämmitysvastus kytketty päälle.	59
Kuvio 45. Kaikki toiminnot käynnissä yhtä aikaa.	60
Kuvio 46. Valvomonäyttö.	61
Kuvio 47. Labview kompostin ohjelma.	62
Kuvio 48. Ajan käsittely	62
Kuvio 49. Mittaukset.	63
Kuvio 50. Lämpötila.....	64
Kuvio 51. NTC-termistorin lämpötilan laskukaava. (NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012)	65
Kuvio 52. Eletric data and ordering information. (NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012).	65
Kuvio 53. NTC-termistorin datalehden parametritaulukko. (NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012).....	66
Kuvio 54. Labview laskentakaavaeditori.	66
Kuvio 55. TI-A-001 kuvaaja ja lämpötila.....	67
Kuvio 56. Releohjaus valvomonäytöllä.	67
Kuvio 57. Kiertovesipumpun releohjaus.	68
Kuvio 58. Käyntiseuranta.....	69

Kuvio 59. Ilmastuksen ajastinpiiri.....	69
Kuvio 60. Ilmastuksen valvomo trendinäkymä.	70
Kuvio 61. Uloimman lämmönvaihtimen energialaskenta.....	70
Kuvio 62. Energian sisäinen ja ulosoton valvomonäyttö.	71
Kuvio 63. Tiedontallennus.....	72
Kuvio 64. Minimien ja maksimien ohjelmaloikka.....	73
Kuvio 65. Minimi ja maksimi operointinäytöllä.	73
Kuvio 66. Merkkivalojen ohjaus.	74
Kuvio 67. Kustannukset.....	75
Kuvio 68. Automaatio pakattuna kuljetuslaukkuun odottamaan asennusta.	78

Taulukot

Taulukko 1. CN-tilukko. (Thopson, K, Tuominen, K).....	13
Taulukko 2. Teholliset lämpöarvot. (Biopolttoaineiden lämpöarvoja, Motiva).....	19
Taulukko 3. Runkomateriaalivertailu.	21
Taulukko 4. Lämmönvaihtimet, ominaisuudet.	28
Taulukko 5. Liitäntätilukko.	41
Taulukko 6. Analogitulot.	44
Taulukko 7. Analogilähdöt.....	44
Taulukko 8. Vastuksen tekniset tiedot. (ELFA, Viitattu 5.2.2016).....	45
Taulukko 9. Vastuksen värikoodin purku.	46
Taulukko 10. NTC-termistorin tekniset tiedot. (Vishay Intertechnology, Inc, 2012) ...	48
Taulukko 11. NTC-termistorin värikoodin purku.....	48
Taulukko 12 .Taustavalojen kytkentätilukko.	57

Lyhenteet:

HCA	High current adapter for NI myRIO laajennuskortti.
NTC	Negative Temperature Coefficient. NTC- termistori. Negatiivinen lämpötilakerroin. lämpötilan noustessa resistanssi pienenee.
PTC	Positive temperature coefficient. Positiivinen lämpötilakerroin. lämpötilan noustessa resistanssi suurenee.
NI myRIO	National Instruments yrityksen valmistama ”ohjelmoitava logiikka”.
MXP	NI myRIO korttilaajennusportti
MSP	NI myRIO laajennusportti ruuviliittimillä
NO	Normally open, relekosketin, normaalisti auki.
NC	Normally closed, relekosketin, normaalisti kiinni.
COM	Common, Koskettimien yhteinen liitin relessä.

1 Johdanto

Ajatus puuhakkeen/kuoren käyttämisestä lämmöntuotantoon polttamatta heräsi työskennellessä selluteollisuudessa biovoimalaitoksella, jossa kuorta varastoidaan ulkona kasoissa. Nykyisellään kuori poltetaan biovoimalaitoksen kattilassa.

Kasaa hoidetaan koneellisesti pyöräkuormaajalla levittäen ja pakaten. Konetyö on tärkeä kasan tiiviyn saavuttamiseksi. Mikäli kasa on huonosti tiivistetty, pääsee ilma kasaan ja kompostoituminen alkaa. Tämä havainto perustuu omiin kokemuksiin ja koskee kuorikasoja.

Kompostoituminen on voimakasta etenkin kuorikasoilla hitaamman kasakierron ja biopuhdistamon pohjalietteen ollessa sekoitettuna kuoreen. Kuorikasoilla aktiivi puhdistamolietteen mukana ololla on varmasti omat vaikutuksensa. Aktiivi bioliete on biopuhdistamon mikrobimassaa.

Kuorikasa käy talvellakin kompostoituen niin kuumana, että se höyryää. Tiedossa on biovoimalaitoksen henkilöhaastattelujen perusteella tapauksia, joissa kasa on alkanut kyteä ja syttynyt avoliekkiin kovillakin pakkasilla. Tulipalon kuorikasalla saattaa aiheuttaa huonosti pakkautunut kohta kasassa, jolloin kompostoituminen saa happea. Tulipaloja on sammuteltu palolaitoksen toimestakin.

Tämä ei toivottu kompostoituminen tuottaa huomattavia määriä lämpöä. Kompostoituminen ja myös mätäneminen kuorikasassa aiheuttaa polttokelpoisen materiaalin lämpöarvon menetyksen. Tämä näkemys perustuu omiin havaintoihin.

Kompostointilämmön talteenottoon teollisuusympäristössä ei välttämättä löydy mielenkiintoa, koska teollisuuskohteessa syntyy suuria määriä lämpöä höyryn- ja sähköntuotannossa. Kompostoinnista saatavat lämpömäärät ovat tähän nähden vähäisiä. Pienrakennus kokoluokassa maatalousympäristössä lämpöä tuottava kompostori olisi mielenkiintoinen ratkaisu, jolloin muuten hyödyntämätöntä biomassaa voisi kompostoida lämmöksi.

Myös saatu hyöty investointeihin nähden arvioidaan teollisuudessa varmasti liian pieneksi. Jos kompostori olisi sijoitettuna lähelle käyttökohdetta ja silti pystyisi jätteestä tuottamaan osan kiinteistön tarvitsemasta perusenergiasta, toiminta voisi olla järkevää.

Näiden pohdintojen pohjalta heräsi ajatus rakentaa lämmöntalteenotto prototyyppikompostori, jonka sisällä kompostoituva tasalaatuinen materiaali. Kun käyttöolosuhteet ovat hallittavissa ja prosessin toiminta mitattavissa ja säädettävissä voidaan lämpöä ottaa ulos.

Ranskalainen omatoiminero Jean Pain suoritti kokeiluja 1970-luvulla. Laitteet olivat käytännössä hakekasoja, mihin oli sijoitettu putkea lämmönvaihtimeksi. Jean Painen laitteet olivat kompostointiominaisuuksiltaan alkeellisia, mutta osassa laitteita oli myös ajatus biokaasun tuottamisesta. Hapekkaat kompostin ulko-osat toimivat kompostina ja ilmatiiviimpi sisäosa tuotti biokaasua. Ulko-osista lämpö siirrettiin kasaa kiertäviin lämmönvaihdinputkiin, joissa kiersi neste. Biokaasu taas otettiin talteen kasan keskeltä pystyputkella.

”Kompostointi on hapellisissa olosuhteissa tapahtuvaa pieneliöiden toimintaa. Pieneliöt eli mikrobit, kuten bakteerit sienet ja sädesienet hajottavat eloperäisen jätteen humukseksi”. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008). Kompostoinnin määritelmänä voidaan pitää myös lahoamista.

”Mätäneminen on orgaanisen aineksen hajoaminen anaerobisissa oloissa, jolloin syntyy pahanhajuisia kaasuja (kuten rikkivetyä) ja epätäydellisesti hapettuneita aineita” (Mätäneminen, Tieteen Termipankki)

Kompostoitaessa orgaanista materiaalia lämpötila nousee hajoamisvaiheesta riippuen 30 – 80 °C lämpötilaan. Lämmön poistaminen kompostista vaikuttaa käymisen tilaan sitä häiriten. Mikäli komposti pidetään 35°C lämpötilassa, pystyy se edelleen jatkamaan hajottamisprosessiaan, mutta siitä pystytään ottamaan eroon ylimääräistä lämpöä.

Tuominen, K mukaan kompostin lämmitessä liian kuumaksi sen toiminta mikrobimuutosten takia hidastuu, jolloin kuumiin olosuhteisiin erikoistuneet mikrobit ottavat vallan.

Lämpeneminen jatkuu, kunnes kompostista loppuu ravinto tai se syttyy tuleen. Lämmöntalteenotolla on mahdollista nopeuttaa kompostin toimintaa. Keskeinen toiminnallinen ajatus on ottaa lämpöä kompostista hallitusti ulos automaatiojärjestelmän ohjaamana, häiritsemättä itse kompostin toimintaa.

Lämpöä voidaan ottaa kompostorista ulos pitämällä sitä jatkuvasti optimaalisella toiminta-alueella. Kun puuhakekompostorille rakennetaan laitteisto, jolla toimintaympäristöä voidaan hallita ja raaka-ainekoostumus on tunnettu, tämä voidaan tehdä häiritsemättä itse kompostin toimintaa. Tähän tarvitaan mittaus- ja automaatiojärjestelmä.

2 Työn tavoite

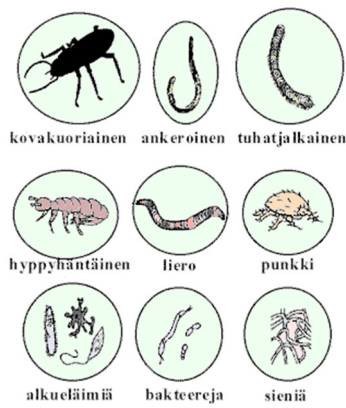
Työssä on tarkoitus rakentaa ja dokumentoida koemittauslaitteiston automaatiojärjestelmä puuhakkeen/kuoren/biomassan kompostoinnista saatavan lämpöenergiapotentiaalin mittaamiseen ja määrittämiseen.

Tässä työssä käsitellään aluksi kompostin toimintaa ja esitetään laiteen rakennusvaiheita. Varsinainen opinnäytetyön painottuu automaatiojärjestelmästä suunnitteluun ja toteutukseen.

Automaatio ohjaa kahta pumppua, yhtä paineilmakompressoria ja lämmitysvastusta. Käytettäviä lämpötilamittauksia on 8 kappaletta. Laitteiston ohjaukseen rakennettiin automaattinen, etäkäytettävä ja operoitavissa oleva logiikka valvomonäyttöineen.

3 Puupohjaisen kompostin toiminta

Kompostointi on hapellisissa olosuhteissa tapahtuvaa eläin- ja kasvikunnan pieneliötoimintaa. Kasvikunnan pieneliötoiminnasta vastaavat mikrobit ja maanpäälliset sienet. Mikrobilla tarkoitetaan homeita, hiivoja sekä bakteereita ja sienillä ruoka- sekä myrkkysieniä. Tyypillisiä pieneliöitä kompostissa ovat ankeroiset, sukkulamadot, lierot, etanat, punkit, siirat, tuhatjalkaiset ja hyönteiset. Nämä edellä mainitut ja niiden toukat käyttävät kompostin ravinteita elääkseen. Sienien kirjo on laaja ruokasienistä homeisiin.



Kuvio 1. Kompostin eliöstöä. (Eloperäinen aines hajoaa maassa, Ruokatieto)

Pieneliöt saavat aikaan hajoamisen, jossa syntyy hiilidioksidia, lämpöä, vesihöyryä, ravinnesuoloja ja humusta. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 29, 2008). Homeet, sienet ja erilaiset pieneliöt ovat merkki hyvin toimivasta kompostista. (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016).

Kompostit ovat yleensä joko heikosti tai ei ollenkaan eristettyjä rakennelmia. Markkinoilta löytyy pieniä kevyesti eristettyjä komposteja, joilla voidaan saavuttaa hoidettuna ympärivuotinen käyttö. Kompostin toiminnan kannalta on tärkeää pitää kylmä pois kompostista.

Kompostoinnin onnistumiseen tarvitaan ravintoa, happea, kosteutta, lämpöä ja oikeanlainen toimintaympäristö, joka täyttää edellä mainitut ehdot. Yhden näistä puuttuessa komposti ei kykene tuottamaan lämpöä.

Jos komposti ei tuota lämpöä, se johtuu yleensä siitä, että ei ole ravintoa, kosteus on pielessä, komposti on liian kuiva tai kompostissa on liian vähän typpeä suhteessa hiileen. (Biolan pikakompostori 220eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016)

Myös tiivistäminen haittaa kompostoitumista. Kompostoituminen on mahdotonta hapen puuttuessa. Kaatopaikolla jätekasat ovat tiiviitä. Tiiviissä kasassa jäte mätänee ja lopputuotteena syntyy metaania, joka on haitallinen kasvihuonekaasu. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008).

Hapen puute johtaa anaerobiseen (hapettomaan) prosessiin ja kompostista tulee mädättämö. Prosessissa vallan ottavat bakteerit, jotka tuottavat hiilidioksidin sijasta biokaasua. Myös lämmöntuottoa ei tapahdu, vaan prosessista tulee lämpöä tarvittava.

3.1 Ravinto

Kompostin pieneliöt tarvitsevat hiiltä energian tuottamiseen ja typpeä solujen rakentamiseen ja lisääntymiseen. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008). Myös kompostin pieneliöt ovat ravintoa toisille pieneliölle. (Mitä kompostointi on?, Biolan Oy, 2016.)

Kompostoinnissa on mahdollista käyttää heräte- ja kiihdytinaineita. Ne sisältävät ravinteita, entsyymejä ja erilaisia pieneliöitä, sieni-itiöitä ja bakteerikantoja. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 63, 2008).

Kompostin toiminnan kannalta CN-suhdeluku on tärkeä. CN-suhdeluvulla tarkoitetaan hiilen ja typen suhdetta. Suhdeluvulla ilmaistaan, kuinka monta kertaa hiiltä on ravinteessa enemmän kuin typpeä.

Hiili (C). Pieneliölle välttämätön rakennusaine. Hiili toimii hajottajaeliöiden energianlähteenä. Hiiltä on erityisesti puumainen aines. Hiilellä on myös hyvä ominaisuus sitoa itseensä typpeä, joka näin ei pääse haihtumaan kompostista. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 33,34, 2008).

Typpi (N). Pieneliöt saavat tarvitsemansa typen kasviperäisistä tuotteista, jotka ovat ottaneet typen maasta. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008). Typpi on välttämätön kompostissa eliöiden lisääntymisen kannalta proteiinien tuotannossa. (Thompson, K. Compost, 2007).

Tarvittavaa lisätyppeä on saatavissa osittain kotitalousjätteestä, mutta myös kiinteä ja ihmisperäinen urea on helposti lisättävissä.

Ammoniakki syntyy, jos typpeä on liikaa, eikä eliöstä kerkeä sitä hyödyntämään. Ammoniakille haisevassa kompostissa on ravinteet pielessä. Kompostoitavasta massasta karkaa typpeä ja tämä ilmenee pistävänä ammoniakin hajuna. Tällöin ravinnetta on korjattava hiilipitoisempaan suuntaan. Hiili sitoo itseensä typpeä ja neutralisoi ammoniakin. (Biolan pikakompostori 220eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016). (Usein kysyttyä, Biolan)

Korkea CN-suhdeluku hidastaa erityisesti puuperäisen materiaalin maatumista. Ihan-teellinen suhdeluku on noin 30. Hiilestä suurin osa, noin 2/3 osaa vapautuu hiilidioksidina kompostoinnin aikana, jolloin lopputuotteen, eli valmiin mullan CN-suhdeluku on 10-15. (Thompson, K. Compost, 25,26,46 2007). Suhdeluku 30 tarkoittaa, että hiiltä on 30 osaa ja typpeä 1 osa.

Taulukko 1. CN-tilukko. (Thopson, K, Tuominen, K)

Typi/hiilisuhde	CN:
Ihmisperäinen urea	1:1
Kasvipitoinen talousjäte	5:1
Kananlanta	7:1
Nurmikon leikkuujäte	16:1
Maatunut turve	30:1
Puunlehdet	50:1
Olki	87:1
Puunkuori	110:1
Koivuhake	190:1
Mäntyhake	1000:1

Taulukon 2 mukaan mäntyhake pitää sisällään suuria määriä hiiltä suhteessa typen määrään. Hyvä seos voisi syntyä puunkuoresta (110:1) ja kasvipitoisen talousjätteen (5:1). Typpipitoisuuden säätö voisi toimia kiinteästä ureasta liuotetulla liuoksella (1:1). Kiinteää ureaa on saatavissa kaupasta. Urean voisi liuottaa kompostin suodostesteeseen ja palauttaa kompostiin. Näin toteutuisi hyvä ravinnekierto.

Hyvä komposti on rakenteeltaan kuin täytekakku. Kompostoitavan biomateriaalin koostumus määrittää ilmavien kerrosten määrän. Ilmavina kerroksina käytetään yleensä juurikin puuhaketta tai kuorta. Kuori pitää sisällään kompostin tarvitseman hiilen paremmassa CN-suhteessa kuin puuhake. Kuoren matalampi CN-suhde helpotaisi sopivan ravintokoktailin saavuttamista. Typpi saadaan muusta biomateriaalista ja typpi on myös helposti lisättävissä nestemäisenä.

Kompostin kerrostukseen voidaan käyttää lehti- tai havupuun oksahaketta, joka on rakenteeltaan ilmavaa, mutta imee hyvin kosteutta. Se ei kykene sitomaan ammoniakkipohjaisia hajuja. Lehti- ja havupuoksahake kompostoituu hitaasti johtuen karkeasta rakenteesta, hienonnettuna puun sisältämä hiili on helpommin käytettävissä. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 38, 2008)

Parempi vaihtoehto olisi lehtipuu- ja havupuiden rouhittu kuori, joka on ilmavaa, si-
too hajuja, ammoniakkia ja kosteutta. Lehtipuu- ja havupuukuori myös kompostoituu
nopeammin ja sisältää hivenaineita. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 39, 2008).

Lehti- ja havupuun kuori olisi huomattavasti parempi raaka-aine kompostiin kuin
hake, johtuen nopeasta kompostoitumisajasta ja ravinteikkaammasta sisällöstään.
Myös ammoniakin hajun estäminen kertoo puumateriaalin typen sitomiskyvystä ja
vähentää prosessin tarvitseman typen haihtumista. Kompostin toiminnan pitämiseksi
optimaalisella tasolla tarvittaisiin tasaista materiaalin läpikulkua. Puuhakekompos-
toinnin kalsiumin saanti on turvattava käyttämällä kuoripitoista materiaalia tai lisää-
mällä kalkkia ja voimakkaasti typpeä sisältävää ravinnetta. Lopullinen resepti löytyy
vasta kokeilemalla.

3.2 Happi

Happi erottaa toisistaan kompostin ja tunkion:

"Komposti on ilmava kasa, joka "palaa", eikä haise."

"Tunkio on tiivis läjä, joka hapettomana mätänee ja haisee".

(Mitä kompostointi on?, Biolan Oy, 2016.)

Kompostointiohjeissa ja kirjoissa kerrotaan kompostin pöyhimisestä. Komposti tarvit-
see ilmaa toimiakseen. Mikrobit eivät selviä ilman happea.

Kääntäminen ja sekoittaminen sotkee kerroksia ja alentaa kompostin lämpötilaa.
Tämä myös johtaa lahottajasienien rihmastojen katkeamiseen ja typen vapautumi-
seen pois. Liiallista kääntämistä pitää välttää. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista,
72, 2008).

Hapen puuttuessa kompostista, muuttuu se tunkioksi. Tunkiossa mädättäjämikrobit
ottavat vallan ja tuloksena on haiseva komposti. Lämpöä talteen ottavassa kompos-
tissa ilmastus hoidetaan tarvittaessa koneellisesti paineilmakompressorin avulla. Ra-
kennettava kompostori on mitoiltaan haasteellinen pöyhittäväksi, joten ilman syö-
töllä vältytään pöyhimiseltä.

Mikäli kompostin ilmajärjestelmä on riittävä, komposti ei tarvitse sekoittamista. Riit-
tävän huokoinen materiaali pitää massan ilmavana. (Biolan pikakompostori 220-
550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016). Ilmanvaihto ei kuitenkaan saa jääh-
dyttää kompostia liikaa. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008).

Kompostin alkaessa haista mädältä, on kyse hapen puutteesta ja prosessista on tullut anaerobinen mätänemisprosessi. Haju on tyypillinen mädän kananmunan haju, mikä on peräisin rikkivety-, indolia-, skatolia- ja merkaptani- yhdisteistä. (Mätäneminen, Otava)

Hapettomissa olosuhteissa toimivat eri mikrobi- ja bakteerikannat. Tämä myös johtaa tilanteeseen, jossa lämmöntuotanto loppuu ja se muuttuu lämpöä tarvitseväksi, bio-kaasua tuottavaksi prosessiksi. Yleensä syynä on kompostin materiaalin pakkautuminen liian tiiviiksi, aiheuttaen hapen puutteen.

Ken Thompsonin mukaan kompostin kärsiessä hapenpuutteesta orgaanisten happojen määrä kasvaa ja kompostista tulee hapan. Bakteerien hajottaessa orgaanista ainesta syntyy orgaanisia happoja. Bakteerit eivät viihdy happamissa olosuhteissa. pH-Olosuhteita voi parantaa käyttämällä kalsiumia sisältävää ravintoa tai lisäämällä kalkkia. (Thompson, K. Compost, 32-33, 2007). Toisissa teoksissa kalkkia ei taas suositella lainkaan sen emäksisyyden, pH:ta nostavan vaikutuksen takia. (Tuominen, K). Lähdetiedot kalkin osalta ovat ristiriitaisia. Liian suuri emäksisyys haittaa kuumavaiheen alkamista tai siihen pääsemistä.

3.3 Kosteus

Kuivuus on kompostin pahin vihollinen. Se lopettaa kompostin pieneliöiden toiminnan. Osa kompostin pieneliöstöstä on uimareita, jotka pystyvät elämään vain kosteassa ympäristössä. Ne eivät kykene lisääntymään ilman kosteutta. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 31,64, 2008). Kosteus on sopiva, kun massaa puristettaessa siitä tulee vain muutama pisara nestettä. (Mitä kompostointi on?, Biolan Oy, 2016).

Hajuton, lämpenemätön komposti on luultavasti liian kuiva. Kompostin houkutellessa huomattavasti pienhyönteisiä kuten muurahaisia, on komposti selvästi liian kuiva. (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016). Harmaa homesienirihmaston ilmastuminen on merkki että, komposti kärsii kuivuudesta. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 64, 2008). Merkinä liian suuresta kosteudesta on kompostiin ilmestyvät kärpäsen toukat. (Biolan pikakompostori 220eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016). Liian kostea komposti haisee, koska vesi täyttää ilmahuokoset eivätkä hajottajaeliöt saa happea. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008).

Kompostin ravinteikkaan suotonesteen voi käyttää kasviravinteena kasteluun laimennettuna 1:2 tai kierrättää takaisin kompostiin. (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016)

3.4 Lämpö

Lämpeneminen on peräisin mikrobitoiminnasta. Mitä paremmat olosuhteet eliöillä on toimia, sitä nopeammin kompostoitava materiaali hajoaa. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 63, 2008). Kompostin hyvä eristäminen estää lämmön karkaamisen ja mahdollistaa hajottajatoiminnan tarvitseman, pieneliötoiminnan ylläpidon.

Kompostin lämpötila vaihtelee 10°C - 80°C. Hyvin yleinen lämpötila on 30°C - 40°C. Mitä vähemmän eliöillä on hajotettavaa, sitä matalammat ovat lämpötilat. (Biolan pikakompostori 220eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016)

Lämpötilan ollessa alle 45°C hajottamisesta vastaavat mesofiiliset mikrobit. Lämpötilan noustessa yli 45°C mikrobikanta vaihtuu termofiileiksi, jotka viihtyvät jopa 70°C ja sitäkin korkeimmissa lämpötiloissa. (Thompson, K. Compost, 56, 2007).

Kompostorin oikeanlainen toiminta on kolmivaiheinen tapahtuma. Vaiheet ovat **lämpenemisvaihe** (pinnalla), **kuumavaihe** (keskellä), ja **jäähtymisvaihe** (pohjalla). (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016).

Lämpenemisvaihe: kesto muutamia päiviä. Tässä vaiheessa työtä hoitavat mikrobit ja sienet. Ne hajottavat liukoista ja hiilipitoista jätettä, kuten sokereita, rasvoja, tärkkelystä sekä yksinkertaisia typpiyhdisteitä. pH muuttuu kohti hapanta. Lämpötila nousee 40-50°C. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 64, 2008).

Kuumavaihe: Kesto muutamasta päivästä muutamaan viikkoon. Kuumavaiheen katoon alkavan lämpötilan ylitettyä 40°C. Lämpötila voi nousta yli 80°C. Kuumavaiheen hyvään ja tehokkaaseen hajotustoimintaan riittää 35°C-50°C. pH muuttuu kohti neutraalia. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 64, 2008), (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016)

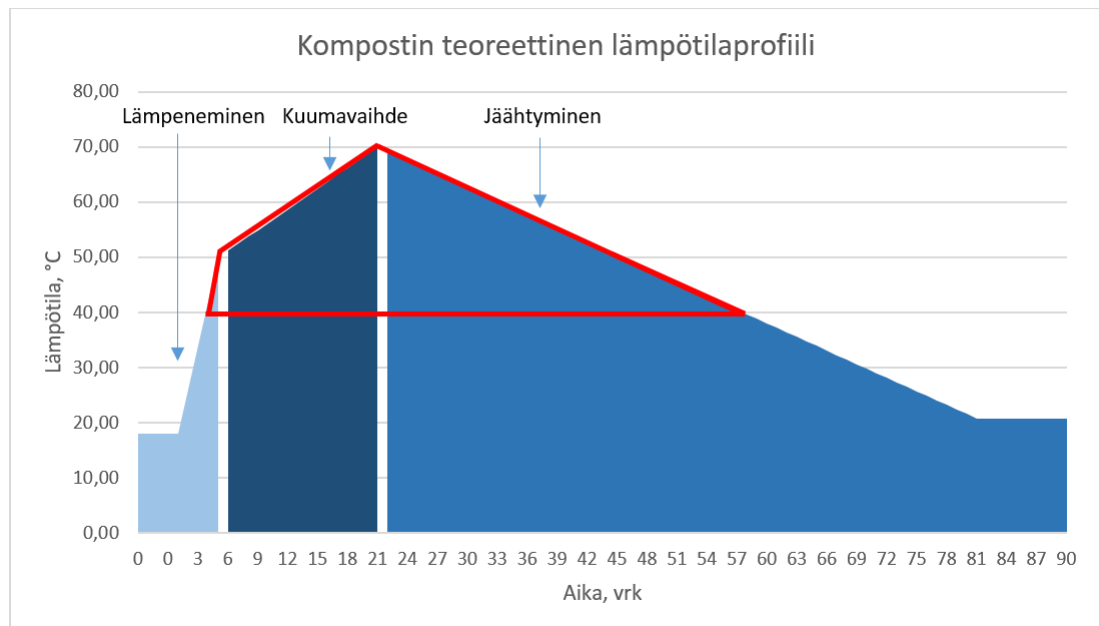
Sienet, mikrobit ja bakteerit (kuten sädesienet) hajottavat typpipitoisia valkuaisaineita sekä muita hajoavia ravintoaineita, kuten lämpenemisvaiheen pieneliötä ja niiden hajoamistuotteita. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 64, 2008), (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016)

Tuomisen mukaan kuumissa olosuhteissa eivät kaikki mikrobit pysty toimimaan, mikä johtaa kompostin toiminnan hidastumiseen. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 64, 2008). Liian kuuma komposti myös kuivuu ja siitä vapautuu voimakkaasti typpeä. (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016). Biolanin mukaan kuumavaiheen loppuminen johtuu helposti hajotettavan materiaalin loppumisesta. (Mitä kompostointi on?, Biolan Oy, 2016.)

Jäähtymisvaihe: ravinteiden alkaessa loppua lämpötila laskee noin 20°C:seen. Kesto vähintään kuukausia. Kirsi Tuomisen mukaan tässä vaiheessa jäljellä ovat hiilipitoiset kuituaineet kuten selluloosa, hemiselluloosa ja ligniini. (Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista, 65, 2008).

Tyypillisiä pieneliöitä ovat tunkiolierot, kovakuoriaiset ja tuhatjalkaiset. Tässä vaiheessa yleistyvät sienet, kuten lakkiherkku- ja mustesienet. Mikrobeista etenkin home- ja sädesienet lisääntyvät kompostissa. Nämä hajottajat vastaavat ligniini ja selluloosasta koostuvien palojen hajottamisesta. Vasta tässä vaiheessa kompostissa

alkaa muodostua humusta. Vaihetta kutsutaan myös katekompostivaiheeksi. (Mitä kompostointi on?, Biolan Oy, 2016.) (Biolan pikakompostori 220-550eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet, 2016)



Kuvio 2. Kompostin teoreettinen lämpötilaprofiili ja lämmöntalteenottopotentiali ajan funktiona.

Kuvion 2. kompostin teoreettinen lämpötilaprofiili ajan funktiona on koottu kirjallisuuden tietojen pohjalta. Lämmöntalteenottopotentiali löytyy kuuma- ja jäähtymisvaiheen lämpötila-alueelta. Tämä lämpö on otettavissa ulos järjestelmästä, heikentämättä kuitenkaan itse kompostin toimintaa. Lämmöntalteenoton kannalta paras alue ottaa lämpöä on juurikin tämä kuumavaiheen alue ja jäähtymisvaiheen alkuosa, missä lämpötilat ovat suurimmillaan.

Mikäli toimintalämpötila nostetaan 50°C, lämmöntalteenottopotentiali heikkenee määrällisesti huomattavasti. Vastaavasti jos toimintalämpötilaa pystytään laskemaan niinkin alas kuin 35°C, lämmöntalteenottopotentiali kasvaa voimakkaasti kuvaajan pinta-alan kasvaessa.

3.5 Puuperäisen materiaalin lämpöarvo

Taulukko 2. Teholliset lämpöarvot. (Biopolttoaineiden lämpöarvoja, Motiva)

Lämpöarvo	Saapumistilassa: [MJ/KG]	Kuivana: [MJ/KG]
Metsähake	6-9	18,5-20
Kokopuuuhake	7-10	18,5-20
Rankahake	7-11	18,5-20
Kantohake	8-13	18,5-20
Havupuun kuori	5-9	18,5-20
Koivun kuori	8-11	21-23
Sahanpuru	6-10	19-19,2
Jyrsinturve	9,7	20,9

Jos kompostissa käytetään puuperäistämateriaalia, joka muuten olisi hankala hyödynnettävä poltettavana puuraaka-aineena, sen hyödyntäminen kompostoimalla voisi olla järkevää. Taulukosta 2. voidaan nähdä polttoaineen saapumistilan energiasisällöt, jotka olisi saavutettava, jotta hyötysuhteessa päästäisiin polttoa lähellä oleviin lukemiin. Käyttökokemusten puuttuessa tässä vaiheessa hyötysuhdelukuja on mahdoton antaa. Kuten myöskään sitä, minkä kokoinen komposti pitäisi olla, jotta siitä olisi pienrakennuksen lämmityskäyttöön.

Kompostissa voidaan myös hyödyntää puun vihreät klooria sisältävät osat, joita ei kattilakorroosion takia voi tulipesässä polttaa. Suuri etu myös saavutetaan kompostoinnissa siitä, että raaka-aineen kosteus/märkyys on hyvä asia, toisin kuin poltettaessa materiaalia.

4 Puuhakekompostorin suunnittelu

Kuuma- ja jäähtymisvaiheen hyvään ja tehokkaaseen hajotustoimintaan riittää 35°C-40°C. Tämän lämpötilan ylittävä lämpö on teoriassa otettavissa kompostista ulos, häiritsemättä itse kompostin toimintaa. Taustatutkimuksen pohjalta suunniteltiin ja rakennettiin laitteisto, joka hyödyntää havaittuja kompostoinnin ominaisuuksia. Keskeisiä tavoitteita oli saada optimaalinen hajottajatoiminta yhdistettyä maksimaaliseen lämmöntuotantoon. Tämä oli laitteiston mekaanisen ja automaation toiminnan suunnittelun pohjana.

Suunnittelun tavoitteena oli rakentaa automaattinen, lämpöä tuottava puuhakekompostori, jossa automaatio ohjaa kaikkia toimintoja. Laitteistoa hallitaan valvomonäytöltä tietokoneella tai paikallisesti käyttökytkinten kautta.

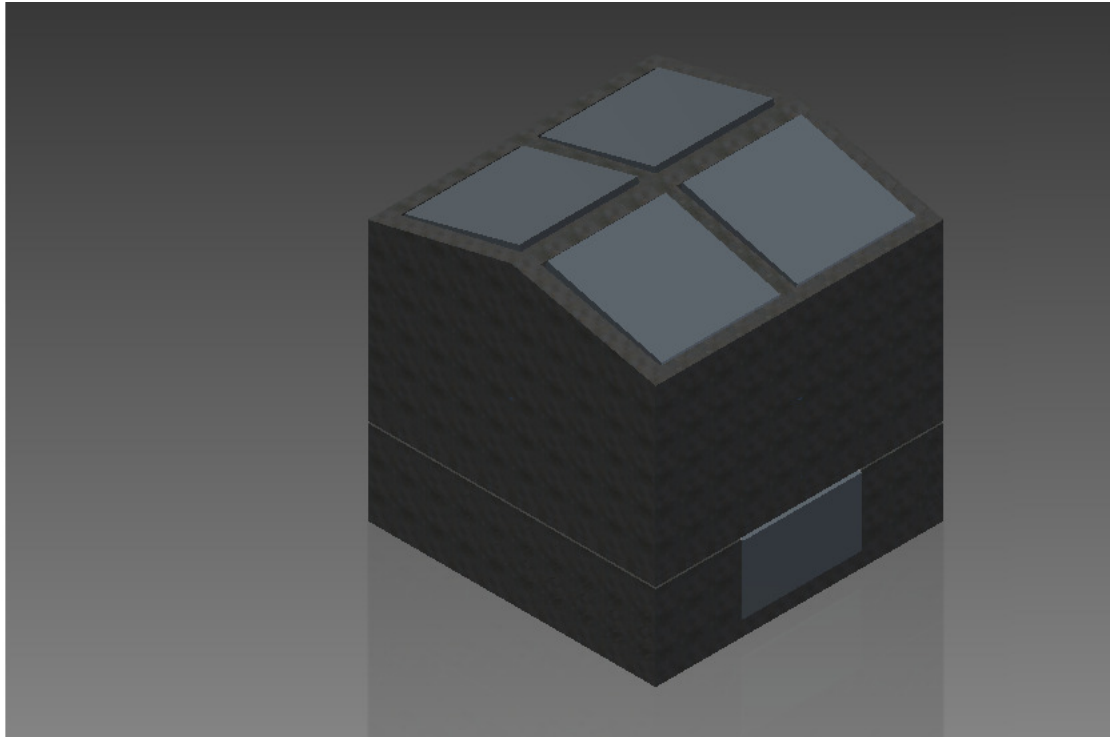
Kompostorin energian talteenotto hoidetaan vesikiertona. Vesikierto kerää kompostorin sisälämmön kiertovesisäiliöön. Kun kiertoveden lämpötila hallitaan automaation avulla, voidaan ylimääräinen lämpö poistaa kiertovesisäiliöstä ja näin kompostorista. Kiertovesisäiliö ja pumppaukset automaation ohjaamana ovat tässä keskeisessä roolissa. Kompostorin hyvällä eristyksellä hallitaan lämmön siirtyminen haluttuun suuntaan.

Kompostoriin suunniteltiin tuloilman esilämmitys energiataseen parantamiseksi. Tarkoituksena oli estää kylmän ilman pääsy laitteen sisäosiin kylminä vuodenaikoina ja ottaa lämpö talteen kompostorista poistuvasta ilmapirrasta.

Kompostoriin suunniteltiin lämpötilanmittaukset, kiertovesipumppaukset ja paineilmakompressoria hoitamaan ilmastusta. Sähkövastuksen tehtävä on turvata kompostorin uudelleen herättäminen epäonnistuneen koeajotilanteen jälkeen. Sähkövastuksen ainoa tarkoitus on mahdollistaa rohkeammat kokeilut ilman pelkoa että, kompostori kylmenee ja pysähtyy kokonaan. Kylmän kompostorin uudelleenkäynnistys on haasteellinen ja aikaa vievä prosessi. Ilman lämmitysmahdollisuutta kylmällä kelillä epäonnistunut koeajo tarkoittaisi seuraavan kevään odottamista, ennen kuin kompostori herää uudestaan. Lämpövastuksella voidaan komposti herättää myös pakka-sella.

4.1 Runkorakenne

Suunnittelun perustana oli saada aikaan yksikertainen, erittäin hyvin eristävä rakenne. Runkorakennetta varten on verrattu villan, styroksin, uretaanin lämmöneristävyyssominaisuuksia keskenään. Runkomateriaalin valintaan vaikutti myös materiaalin rakennettavuus.



Kuvio 3. Kompostin rakenne Autocad Inventor

Kompostorin rakenne on suunniteltu Autocad Inventorilla (kuvio 3). Kompostorin uloimman lämmönvaihtimen muodostama sisätilavuus on työtä hallitseva mitta. Lämmönvaihtimen sisäosan tilavuudeksi on suunniteltu 1 m³ Muu mitoitus on rakentunut sen ympärille.

Taulukko 3. Runkomateriaalivertailu.

Tuote:	Tyyppi:	Materiaali:	Tuote:	Paksuus: [100mm]	U-arvo, λd : [W/m ² /K]	Lämmön kes- tävyys: [°C]	Mitat:	€/m ²	Lämpöhäviö: W
<u>SPU:</u>	SPU	polyuretaania	SPU R	100	0,023	100	100x1200x2400	30,1	13,8
<u>Finnfoam:</u>	XPS	polystyreeni	FL-300	100	0,035	75	100x585x2485	16,4	21,0
<u>Styroks:</u>	EPS	polystyreeni	EPS 100	100	0,036	80	100x1200x1000	6,43	21,6
<u>Isover:</u>	villa	Mineraalivilla	KL-37	100	0,037	-	100x565x870	5,89	22,2

Taulukosta 3. havaitaan että, SPU polyuretaani levy olisi ollut eristyskyvyltään paras U-arvon ollessa 0,023 W/m²/K. Myös materiaalin lämmönkestävyys olisi ollut turval-

lisella alueella. Tuotteen pahin miinus oli sen hinta. Neliöhintakustannukset ovat tuplasti kalliimmat verrattuna Finnfoam levyyn ja lähes kuusin kertaiset edullisempaan villa vaihtoehtoon verrattuna.

Villa olisi ollut ylivoimaisesti halvin tapa rakentaa rakenne, jos ajatellaan pelkkää eristystä. Villaeristys olisi vaatinut tukevan rungon. Märkä kompostimassa aiheuttaa varsinakin kompostin alaosissa huomattavan paineen kompostin seinärakenteisiin. Villa olisi myös pitänyt saada eristettyä sisäpuolelta suodosnesteiltä ja ulkopuolelta säävaikutuksilta. Villa menettää kastuessaan eristeominaisuutensa ja muuttuu märkänä lämmönjohtimeksi.

EPS-eristeet (styroksi) on muottimenetelmällä tai jatkuvatoimisella linjalla polystyreenistä valmistettuja lämmöneristeitä. EPS-eriste valmistetaan kestopuovia olevasta polystyreenistä vesihöyryn avulla paisuttamalla. (Muovit rakentamisessa, EPS-eristeet. Simo Hoikkala.)

EPS-eriste olisi ollut hinnaltaan lähes yhtä edullista kuin villa. EPS-eristeen huonoja puolia on materiaalin kestävyys. EPS-eriste ei kestä vääntöä ja sillä on myös taipumus vettyä.

Finnfoam on suulakepuristettua polystyreeniä, eli kansainväliseltä lyhenteeltään XPS-lämmöneriste. Finnfoamin erinomaiset ominaisuudet perustuvat sen solurakenteeseen. (Koostumus ja rakenne, Finnfoam. 2016.)

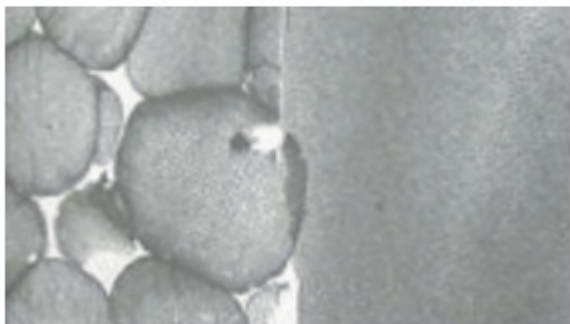
EPS Lattia

100

(styroksi 18 kg/m³)

FINNFOAM

(F-300 32 kg/m³)



Kuvio 4. EPS-eriste (vasen) ja Finnfoam eriste (Oikea). (Koostumus ja rakenne, Finnfoam. 2016.)

Kuviossa 4. esitettynä perinteisen styroksi EPS- eristeen ja Finnfoam- eristeen rakenteellinen eroavaisuus. Styrokseen verrattuna Finnfoam levy on erittäin kovaa ja tiivistä.

Finnfoam levyn puristuslujuus on kolminkertainen styrokseen verrattuna, vaikka valmistusmateriaali on sama. Lyhytaikainen (45 vrk) puristuslujuus 300 kPa, pitkäaikainen (yli 90 vrk) 150 kPa. Puristusta levy kestää pitkäaikaisesti 15 t/m². Kuormitusviiruma alle 2% kuormituksen ollessa 130 kPa. Taivutuslujuus on 500 kPa. (Finnfoam-lämmöneristyslevyjen tekniset tiedot, Finnfoam Oy)

Finnfoam Levy ei tiiviytensä johdosta ime itseensä styroksin tavoin kosteutta, mikä kompostori laitteessa on tärkeä ominaisuus. Finnfoam levy 28 vuorokauden upotuskokeessa imee itsensä 7 kertaa vähemmän vettä kuin EPS, imeytymisen ollessa 0,7%. (Finnfoam-lämmöneristyslevyjen tekniset tiedot, Finnfoam Oy)

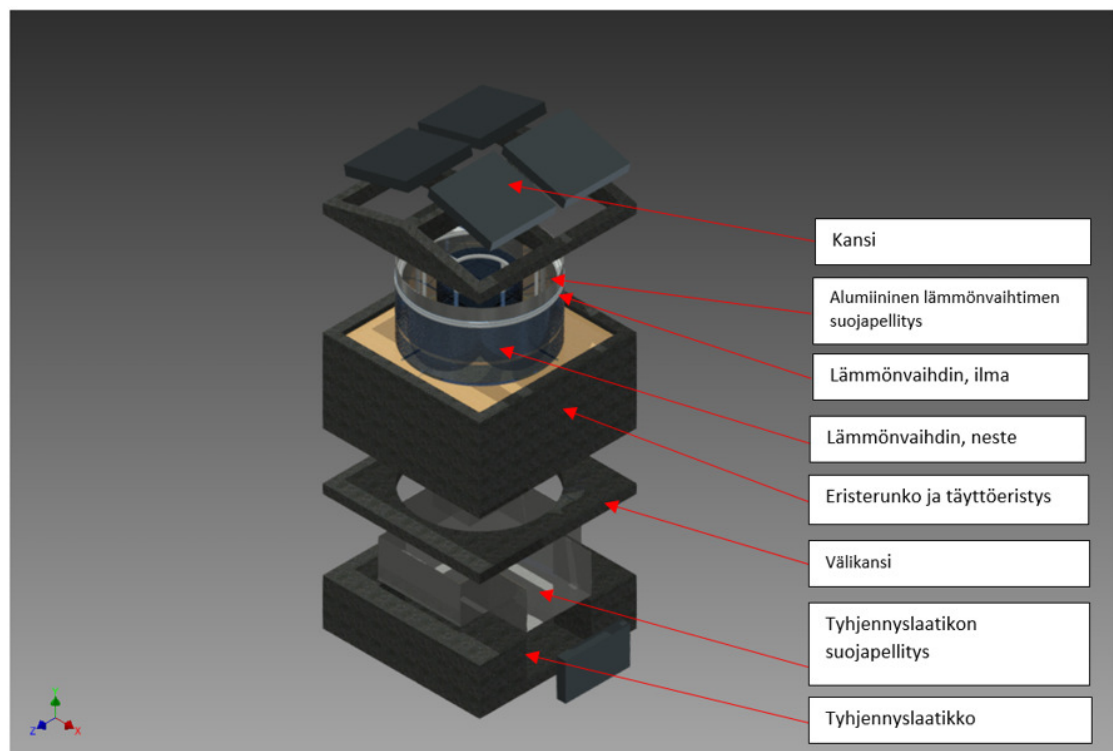


Kuvio 4. Finnfoam levyä ja PEX putkea.

Lämpö- ja runkorakenteeksi Finnfoam levy on kompostorille kustannustehokas valinta (Kuvio 4). Paksuudeltaan 100mm Finnfoam- levy on vahvaa ja sopii näin rungon rakentamiseen ilman sen suurempia runko- ja tukirakenteita. Levy on lähes vettä imemätöntä, mikä sopii erittäin hyvin kompostin kosteudelle ja sijoitettavaksi ulos.

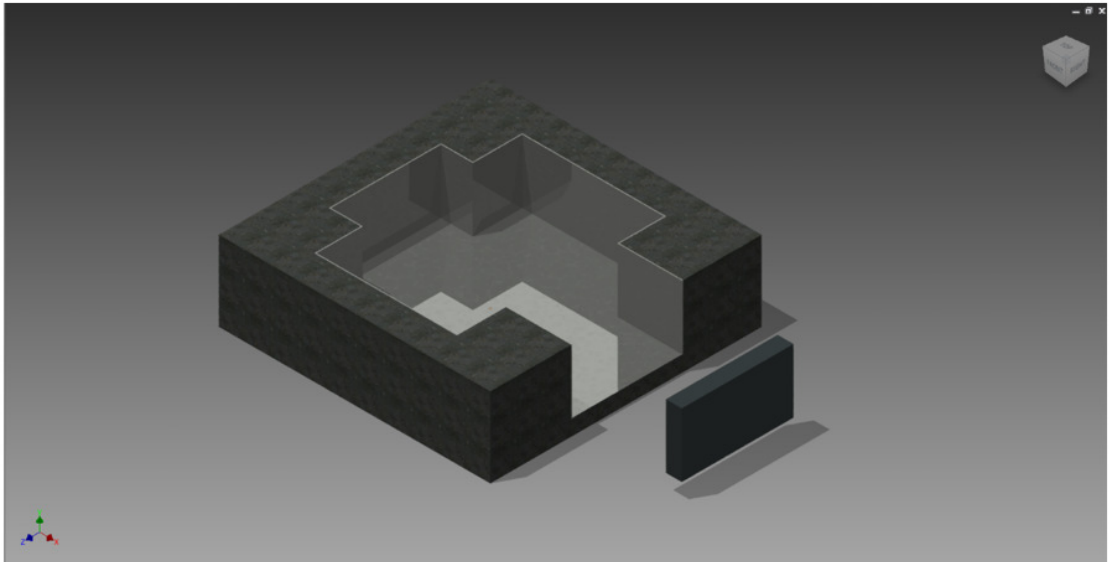
Lämmöneristävyydeltään se on SPU-levyä heikompaa, arvon ollessa silti hyvä 0,035 Wm²/K.

Finnfoam-levyn suurin heikkous on sen lämmönkestävyys, joka on 75°C. Materiaalin lämmönkestoraja jää alle kompostoitumisprosessin lämpötilan ylärajaa. Kiertoveden lämpötilan säädön toimivuus on merkitsevä. Kiertoveden lämpötilalla voidaan suojella ulointa Finnfoam runkorakennetta. Lämpötilan hallitsemattomasta noususta voisi seurata ei toivottu muodonmuutos.



Kuvio 5. Kompostin rakenne.

Kuviossa 5. esitettyä kompostorin keskeiset komponentit. Rakenne on Autocadilla piirretty ja mitoitettu.



Kuvio 6. Tyhjennyslaatikon pellityksen suunnittelua.

Finfoam- levy on kovuudestaan huolimatta loppujen lopuksi pehmeä materiaali. Kompostin tyhjennyslaatikon pinta on suojattu sinkkipellillä (kuvio 6). Pellityksen tarkoitus on olla suojana lapiotyhjennyksessä.



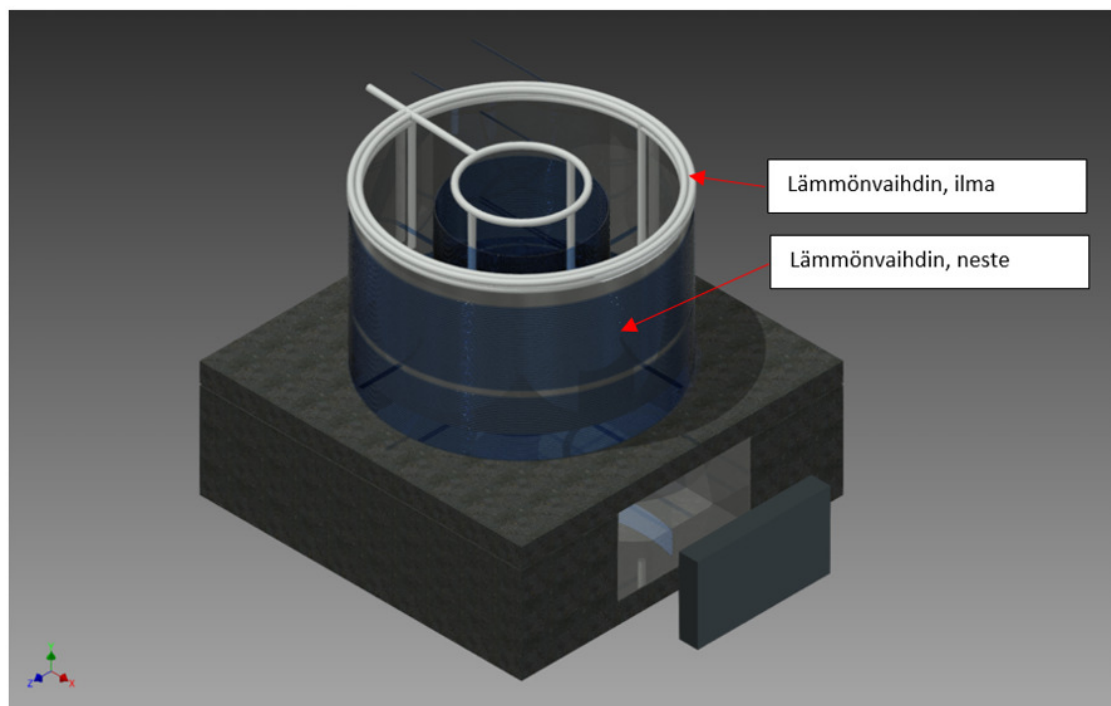
Kuvio 7. Kompostin pellitetty tyhjennyslaatikko.

Laitteiston heikkous on jäähtymisvaiheessa rakenteellisen viimeisen 40 sentin korkuisen tyhjennyslaatikon alueen ollessa lämmönvaihtimetön (Kuvio 7). Laitteistoa voisi

parantaa loppumassan lämmöntalteenottoratkaisulla, kuten lisäämällä kompostin pohjaan vielä yhden lämmönvaihtimen.

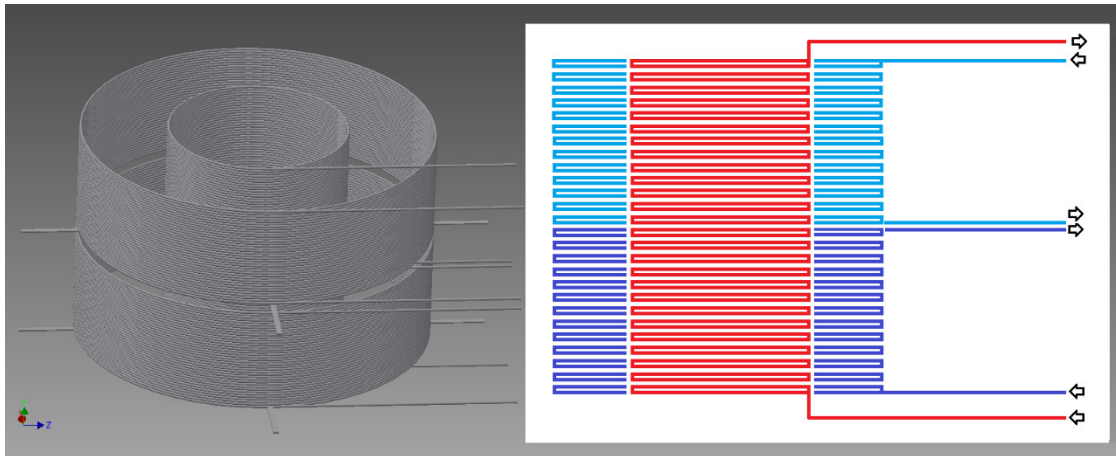
Toisaalta nykyisessä ratkaisussa lämpöä ei missään vaiheessa menetetä. Nykyisessä rakenteessa jäähtymisvaiheen tapahtuessa kompostin alaosissa se toimii samalla ilman esilämmityksenä luonnollisen hengitysreitin ollessa kompostin alaosasta ylös.

4.2 Lämmönvaihtimet



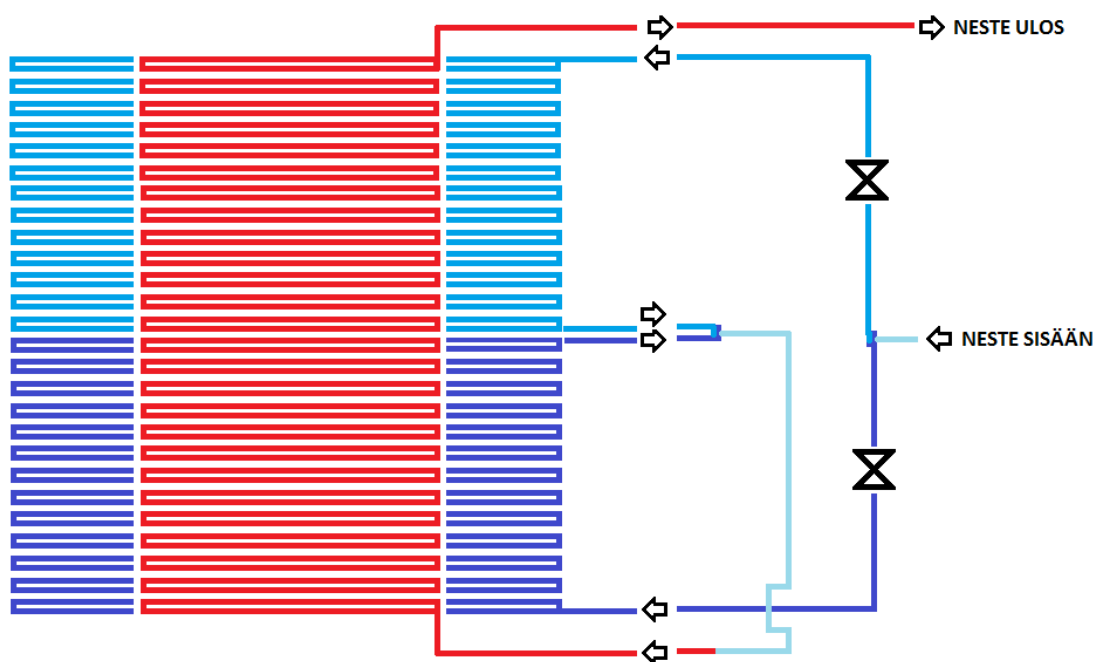
Kuvio 8. Lämmönvaihtimet

Kuviossa 8. Autocad Inventorilla suunniteltu lämmönvaihdinrakenne. Sinisellä esitettyinä kaksi ulointa lämmönvaihdinta ja sisälämmönvaihdin. Ilman esilämmitys ja ilmastus kuvassa valkoisena.



Kuvio 9. Nestelämmönvaihtimet ja periaatekuva.

Kompostorin sisällä on kolme kappaletta lämmönvaihtimia nesteelle. Ulompi lämmönvaihdin on jaettu kahteen osaan lämpöpotentiaalin korottamiseksi (kuvio 9). Nestevirta tuodaan sisään kompostorin kylmemmästä osasta ja poistetaan lämpimästä.



Kuvio 10. Nestekierron periaatekuva.

Kiertoneste kiertovesisäiliöstä pumpataan kompostorille. Nestevirta jaetaan kahdelle uloimmalle lämmönvaihtimelle (kuvio 10). Ylempi lämmönvaihdin virtaa ylhäältä

alas. Alempi lämmönvaihdin virtaa alhaalta ylös. Näin nestevirta kulkee aina kylmästä lämpimämpää kohti. Käsikäyttöisillä venttiileillä säädetään nestevirrat yhtä suuriksi.

Uloimpien lämmönvaihtimien jälkeen nestevirta yhdistetään ja syötetään sisälämmönvaihtimeen. Neste virtaa sisälämmönvaihtimen läpi alhaalta ylös. Neste palautetaan takaisin kiertovesisäiliöön.

Taulukko 4. Lämmönvaihtimet, ominaisuudet.

	ULKOLÄMMÖNVAIHDIN:	SISÄLÄMMÖNVAIHDIN:
kokonaisleveys	1,37 m	0,45 cm
putkenleveys	0,012 m	0,012 cm
kierroksia	35,0 kierrosta	43,0 kierrosta
Kehä	4,31 m	1,42 m
metrejä	150,8 m	60,9 m
Pinta-ala:	5,68 m ²	2,29 m ²
Metrejä yhteensä:	211,7 m	
Pinta-ala yhteensä:	7,98 m²	

Taulukko 4. Uloimmissa lämmönvaihtimissa on yhteensä n.150 metriä putkea, lämmönkeräyspinta-alan ollessa n. 5,7 m². Sisemmässä lämmönvaihtimessa putkea on n. 61 metriä, lämmönkeräyspinta-alan ollessa n. 2,3 m² (kuvio 8.). Yhteensä lämmönvaihtimilla on hyötymittaa n. 212 metriä. Lämmönkeräyspinta-alana tämä tarkoittaa n. 8 m².



Kuvio 9. Ulkolämmönvaihtimen "sampluunat".

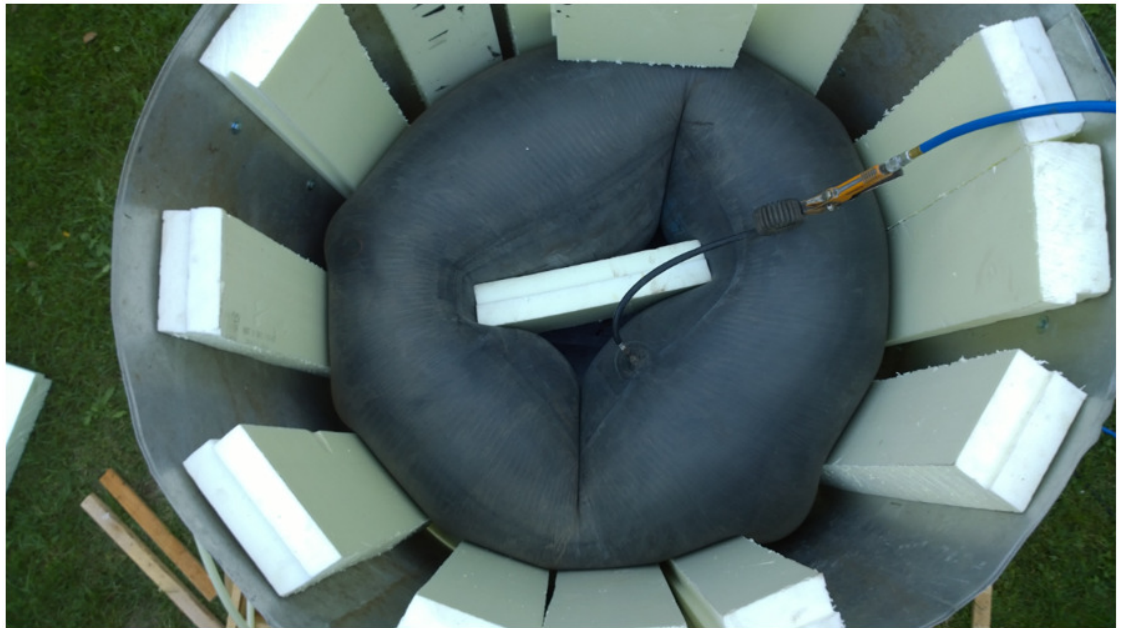
Lämmönvaihtimet on rakennettu 12mm PEX putkesta kiertämällä niitä puusta rakennetun ”sapluunan” ympärille (kuvio 10,11). PEX putki on käyttövesijohtoputkea ja sen suunnittelupaine on 10 Bar. Muoviputki ei ole ideaalinen lämmönvaihtimeen, mutta kustannuksiltaan edullisempi kuin kupariputki.

PEX-muoviputki on Hencon valmistamaa 15x2,5 PE-Xc yleisputkea, joka oli varustettu suojakuorella. Tämä suojakuori on putkesta poistettu. Lämmönjohtavuuden ero on huomattava. Putken lämmönjohtavuus on 0,36 W/mK ja vastaavasti samankokoisen kupariputken lämmönjohtavuus 295 W/mK.



Kuvio 10. Uloimmat lämmönvaihtimet rakennusvaiheessa.

Sapluunan ympärille kierretty PEX- putki sidottiin rautalangalla rakennusvaiheessa muodon säilyttämiseksi (kuvio 10). PEX-putkea uloimpiin lämmönvaihtimiin mahtui n. 151 metriä.



Kuvio 11. Alumiinisuojan ponnistus.

Sisäosan suoja-alumiinipelti piti saada tiukasti kiinni alumiinipellin ulkopinnalla kiertävään lämmönvaihdinputkeen. Näin saadaan aikaan hyvä lämmönsiirto. Alumiinipellin ponnistus on tehty kolmella traktorin sisärenkailla (kuvio 11). Alumiinipelti on kiinnitetty popniiteillä pysyvästi tähän asentoon.



Kuvio 12. Lämmönvaihdin, alumiinisuoja ja tuenta.

Ponnistuksen jälkeen lämmönvaihdin on tuettu ulkopuolelta tiukasti alumiinipeltiin läpi pulttaamalla ja tukemalla ulkopuoli kyllästetyillä puulaudoilla (kuvio 12).



Kuvio 13. Ulompi lämmönvaihdin ja suoja-alumiini.

Kuviossa 13. Ulompi lämmönvaihdin asennettuna tyhjennyslaatikon päälle. Kuvassa myös nähtävissä lämmönvaihtimen sisäpuolelle asennettu lämmönvaihdinta suojaava alumiinipelti. Alumiinipellin on tarkoitus suojata lämmönvaihdinta, mutta myös toimia liukupintana kompostoituvalla materiaalilla.



Kuvio 14. Lämmönvaihtimen suojaus.

Lämmönvaihdin on suojattu muovilla ennen ulkopuolisen runkorakenteen asentamista (kuvio 14). Suojauksen tarkoituksena on estää suihkutetun uretaanin joutuminen väärälle puolelle lämmönvaihdinta, jolloin se alkaa haitallisesti toimimaan eristeenä väärässä välissä.



Kuvio 15. Kompostin tyhjän rakenteen täyttö.



Kuvio 16. Kompostin tyhjän rakenteen täyttö.

Kuviossa 15, ja 16 rakenteen tyhjää osaa on täytetty Finnfoam-levyn palasilla ja pullouretaanilla. Pullouretaania tiivistämiseen kului yli 40 pulloa.



Kuvio 17. Sisempi lämmönvaihdin ja "sapluuna".

Sisempi lämmönvaihdin on rakennettu lähes vastaavasti kuten ulompi lämmönvaihdin sapluunan päälle. Suurin eroavaisuus löytyy puuttuvasta alumiinisuojusta (kuvio

17). Sisempi lämmönvaihdin olisi vaatinut alumiinisen suojapellin kummallekin puolelle ja monimutkaistanut rakennetta. Ilman suojakuorta sisempi lämmönvaihdin on myös tarvittaessa helppo uusia ja vaihtaa myös toisesta materiaalista valmistetuksi.



Kuvio 18. Sisälämmönvaihtimen kiinnityksen rakenne.

Sisemmän lämmönvaihtimen kiinnitys kuvattuna kuviossa 18.



Kuvio 19. Sisälämmönvaihdin asennettuna.

Sisälämmönvaihdin asennettuna lämmönvaihtimen pystysuuntaisen kuorman kantavan sinkkipalkin päälle. (kuvio 19). Kuvasta voi nähdä rakenteen, kiinnitykset, poikittaistuet ja lämmönvaihtimen painon kantava sinkkipalkki.



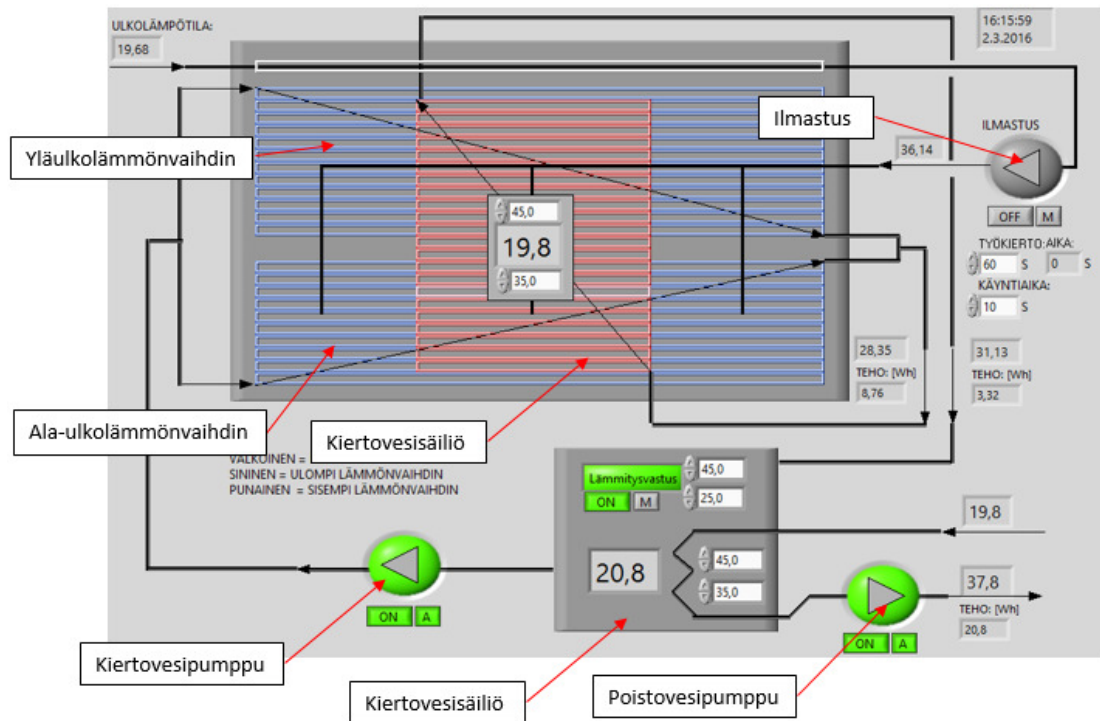
Kuvio 20. Sisälämmönvaihdin asennettuna.

Sisälämmönvaihdin asennettuna uloimman lämmönvaihtimen sisään. Kuviosta 20 voidaan myös hyvin havaita uloimman lämmönvaihtimen suojaksi asennettu alumiinipellitys. Sivuttaisen liikkeen estävät poikittaistuet. Nestekierron putkisuojat estävät liikkeet muihin suuntiin poikittaistukiin nähden. Kuvasta puuttuvat vielä nestekierron putkien suojaukset (kuvio 20,21).



Kuvio 21. Sisälämmönvaihdin asennettuna.

4.3 Toimintaperiaate



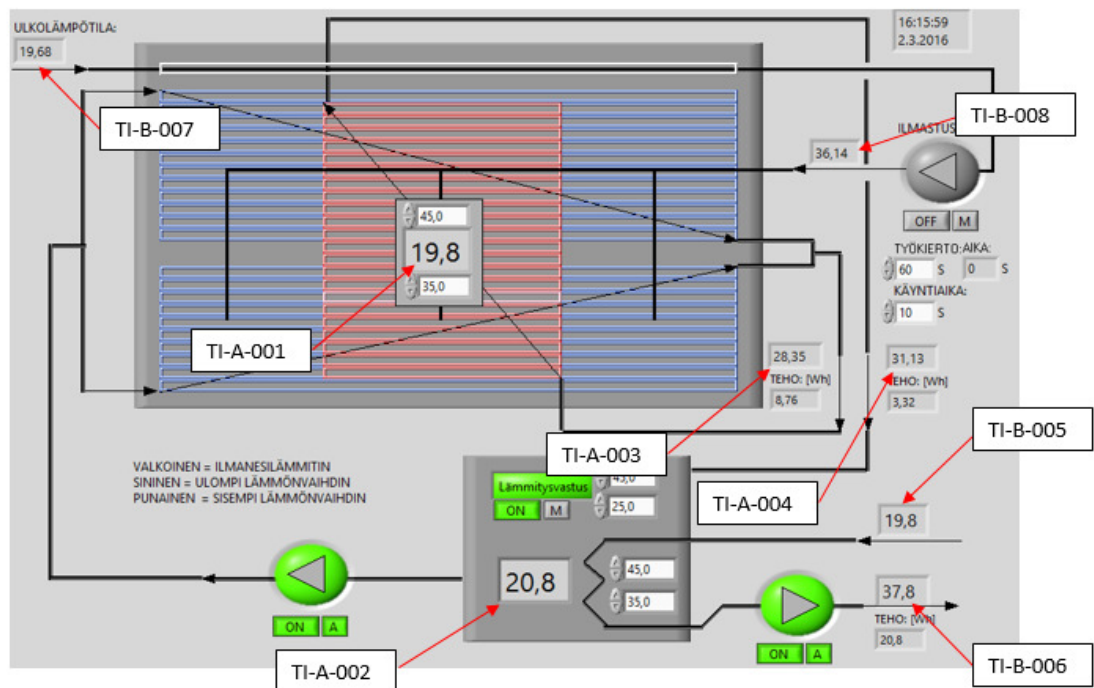
Kuvio 22. Kompostorin keskeiset laitteet valvomonäytöllä.

Kiertovesisäiliöstä jäätymätön glykolikiertoneste pumpataan kiertovesipumpulla ulompaan lämmönvaihtimeen (kuvio 22). Ennen lämmönvaihdinta nestevirta jaetaan ylemmälle lämmönvaihtimelle ja alemmalle lämmönvaihtimelle. Kaikissa neljässä lämmönvaihtimessa virtaussuunta on kylmemmästä kohti lämmintä.

Uloimpien lämmönvaihtimien jälkeen nestevirta kerätään yhteen ja syötetään sisempään lämmönvaihtimeen. Tässä sisemmässä lämmönvaihtimessa virtaussuunta on myös kylmästä kohti lämmintä yläosaa. Lämmönvaihtimen jälkeen neste palautetaan kiertovesisäiliöön.

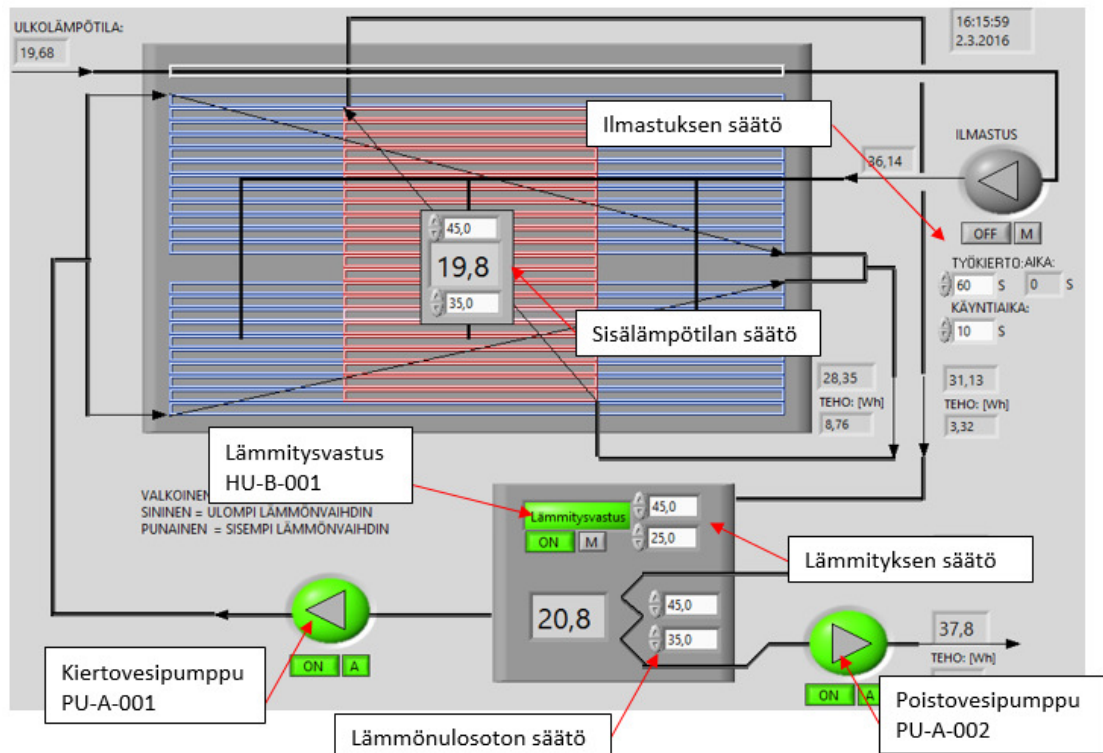
Kiertovesisäiliön tehtävänä on toimia kompostorin sisäisen energian tasaajana.

Lämpö siirretään kompostista kiertovesisäiliöön, mistä lämpö poistetaan järjestelmästä. Kiertovesisäiliöstä lämpöenergia siirretään lämmönvaihtimen kautta poistovesipumpulla pumpaamalla käyttökohteeseen.



Kuvio 23. Kompostorin lämpötilanmittaukset.

Mittauksien tehtävänä on antaa tietoa laitteiston tilasta, toimia ohjaussignaalina laitteille, ja mahdollistaa energian laskenta (kuvio 23). Lämpötilamittaukset selitetty tarkemmin taulukossa 6.



Kuvio 24. Kompostin säätöpiirit.

Kompostorin sisälämpötilan säätöpiiri: Pumpun (PU-A-001) ollessa automaattiasennossa, automaatio säätelee lämpötilan haluttuun asetusarvorajojen mukaisesti käynnistämällä tai pysäyttämällä pumppua. Kompostin sisälämpötilan säätöpiiri käynnistää kiertovesipumpun (PU-A-001) lämmön ylärajasta ja pysäyttää sen asetetusta lämmön alarajasta.

Kompostorin sisälämpötilan säätöpiirin ja pumpun (PU-A-001) tehtävä on pitää kompostin sisälämpötila asetettujen raja-arvojen sisällä ja syöttää kiertovesi kompostin lämmönvaihtimille (kuvio 24).

Kompostorin kiertovesilämpötilan säätöpiiri: Pumpun (PU-A-002) ollessa automaattiasennossa, kiertovesisäiliön lämpötilan säätöpiiri säätelee lämpötilan kiertovesisäiliössä haluttuun asetusarvojen mukaisesti. Säätöpiiri käynnistää kiertovesipumpun (PU-A-002) asetetusta lämmön ylärajasta ja pysäyttää sen asetetusta alarajasta. Tällä piirillä ja pumpulla lämpöenergia poistetaan järjestelmästä (kuvio 24).

Kompostorin lämmitysvastuksen lämpötilan säätöpiiri: Sähkövastuksen ollessa automaattiasennossa, säätelee kompostorin lämmitysvastuksen lämpötilan säätöpiiri lämpötilan kiertovesisäiliössä haluttuun asetusarvojen mukaisesti. Sääto käynnistää

lämmitysvastuksen (HU-A-001) asetetusta alarajasta ja pysäyttää sen asetetusta ylärajasta. Tällä piirillä varmistetaan kompostin käynnistäminen häiriötilanteessa (kuvio 24).

Kompostin ilmastuksen ajastuksen säätöpiiri: Paineilmakompressorin ollessa automaattiasennossa, säätää piiri ilmastuksen paineilmakompressorin käyntiaikoja asetusarvojen mukaisesti. Säätö käynnistää ilmastuksen paineilmakompressorin (PU-B-003) ajastimen ohjaamana ja pysäyttää sen asetusarvon mukaisesti. Tällä piirillä varmistetaan kompostin lisäilman saanti. Kuvassa asetusarvoksi on asetettu ”tauko-aika 60 sekuntia” ja ”käyntiaika 10 sekuntia”. Paineilmakompressorin odottaa 60 sekuntia ja tämän jälkeen se käy 10 sekuntia, jonka jälkeen palataan taas odotusjaksoon (kuvio 24).

5 Automaatio

5.1 NI myRIO

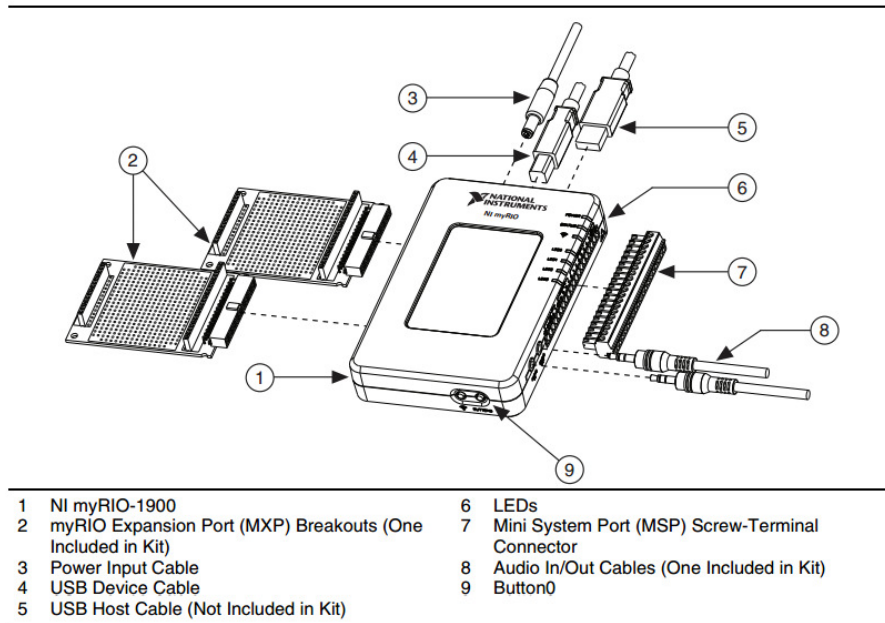
Automaation pohjaksi aluksi oli tulossa National Instrumentsin USB-6000 laite. Myös Arduino kehitysympäristön laitteet olivat tarkastelussa. Lopulliseksi laitevalinnaksi valikoitui National Instrumentsin myRIO. Laite mahdollistaa suuremman I/O lähtöjen määrän hyödyntämisen verrattuna laitteeseen USB-6000. MyRio on myös rakennettavissa toimimaan itsenäisesti ilman jatkuvaa tietokone kytkentää.

Ohjelmistoksi valikoitui NI Labview ohjelmisto graafisen käyttöliittymän takia. Kun tarkoituksena oli rakentaa itsenäisesti toimiva laite, sopivat nämä edellä mainitut NI Labview ja NI myRIO siihen hyvin.

Ni myRIO on ohjelmoitava mittauslaite. Laite voidaan ohjelmoida tietokoneella ja jättää tämän jälkeen suorittamaan annettuja tehtäviä itsenäisesti ilman tietokoneen apua. Laite kykenee mittausten ja ohjausten suorittamiseen ja mahdollistaa Labview ohjelman kanssa mittaustulosten analysoinnin.

Laite on varustettu kaksidyin XilingZ-7010 prosessorilla kellotaajuudeltaan 667 MHz. Laitteessa on sisäinen 512 MB DDR3- keskusmuisti. NI myRio-laitteen maksimitehonkulutus on 14W, ja lepotilassa tarvittava teho on 2,6W. Laitteen käyttölämpötila on

0-40°C. (User guide and specifications 2013, 20,24). Tiedon tallennustilana voidaan käyttää siirrettävää USB-laitetta.



Kuvio 25. NI myRIO. (User guide and specifications 2013, 1).

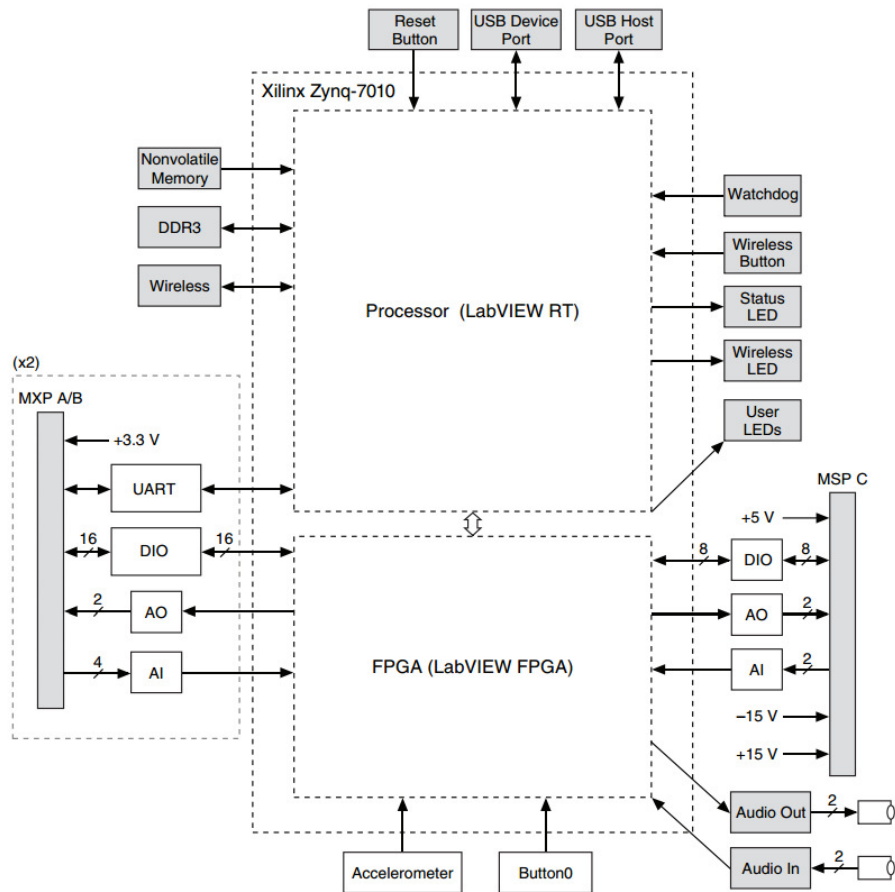
Kuvio 25. Laitteen ulkoiset pääosat:

1. NI myRio laite
2. MXP laajennusportteihin liitettävät kortit (2 kpl)
3. Virtaliitin
4. Usb- laitekaapeli tietokoneeseen
5. Usb- liitäntä muihin Usb- laitteisiin
6. Merkkivalot
7. MSP laajennusportti
8. Audioliitin (in/out)
9. Ohjelmoitava painike

Liitäntöjen kautta laitteeseen voidaan liittää tietokone ja USB-lisälaiteliitäntä mahdollistaa USB-massamuistin, kameran tai vastaavan laitteen käytön. Laitteessa sijaitsevaa ”mini-plugia” voi myös käyttää äänisignaalin ulostuloon. Tätä voisi hyödyntää esimerkiksi hälytysääninä paikallisesti.

Laitteen mielenkiintoinen ominaisuus on käyttää ja ohjelmoida laitetta langattomasti. Kommunikointi laitteen ja valvomopäätteen kanssa hoidetaan Wifi-tekniikalla. NI my-

Rio liitettynä langattomaan lähiverkkoon mahdollistaa laitteen internetin kautta. Liikenteen salausta hoidetaan vaihtoehtoisesti turvallisesti WPA, WPA2, WPA2-entprice salauksilla. (User guide and specifications 2013, 21).



Kuvio 26 myRio toimintokaavio. (User guide and specifications 2013, 3).

Kuviossa 26. on esitetty MXP A/B liitäntäpaikat graafisesti. Taulukkoon 5. on listattuna keskeiset ominaisuudet korttipaikoittain.

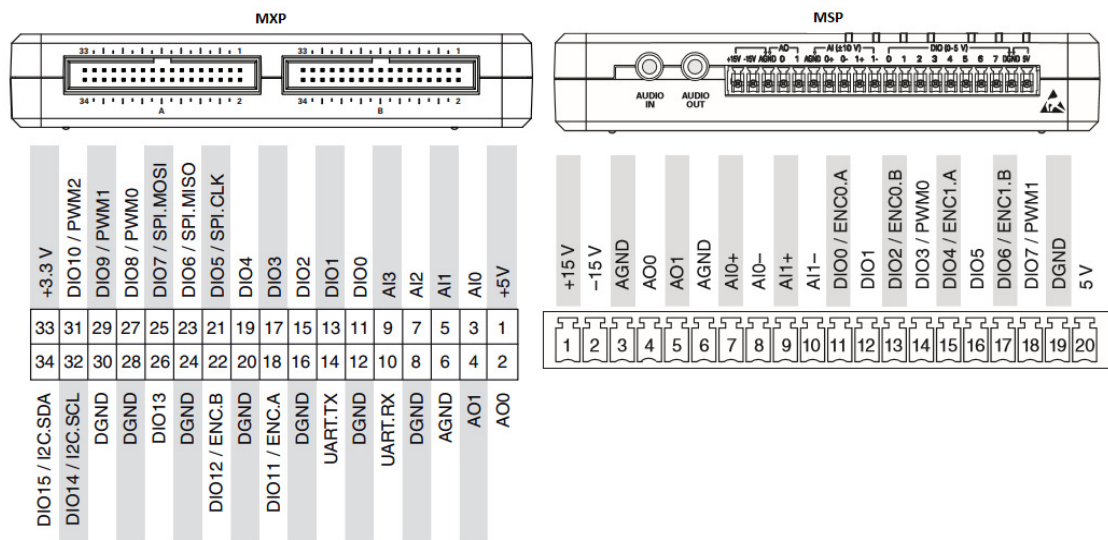
Taulukko 5. Liitäntätaulukko.

Ominaisuus:	Yhteensä:	Korttipaikka: MXP-A	Korttipaikka: MXP-B	Korttipaikka: MSP
Analogisia sisääntuloja:	10	4	4	2
Analogisia ulostuloja 0-5V:	4	2	2	0
Analogisia ulostuloja 0-10V:	2	0	0	2
Digitaalisia sisään/ulostuloja:	40	16	16	8
+3,3 V Jännitelähtöjä:	1	1	1	0
+5 V Jännitelähtöjä:	1	0	0	1
+15 V Jännitelähtöjä:	1	0	0	1
GND (analoginen)	2	1	1	0
GND (digitaalinen)	1	0	0	1

Laitteiston suunnittelun kannalta rajoittavat tekijät löytyvät analogia in/outputtien määrästä. A ja B liitännöistä löytyy kummastakin 2 kappaletta 5V analogiulostuloja. MXP-analogi ulostulojen signaalin tarkkuus on ± 50 mV. Analogi C-liitännästä löytyy myös kaksi kappaletta analogi ulostuloja, se kykenee tuottamaan 0-10V jännitteen signaaliin. MSP-analogi ulostulojen tarkkuus on ± 200 mV. (User guide and specifications 2013, 21).

5.2 Suunnittelu

NI myRIO:lle laitetta suunniteltaessa on syytä muistaa laitteen rajoitteet. Laite on tarkoitettu pääosin prototyyppi- ja opetuskäyttöön. Rajoitteet tulevat vastaan I/O porttien määrässä. NI myRIO riittää kuitenkin hyvin laitteisiin, joissa mittauksen tai ohjattavien laitteiden määrä on vähäinen. Itse mittauksista ja laskentasuoritusten hoitamisesta laite tuntuu selviävän moitteetta. Kuviossa 27 esitettynä porttien MXP A/B liitännät.



Kuvio 27. MXP- ja MSP- porttien kytkentä. (User guide and specifications 2013, 4,6)

Kytkentää suunniteltaessa on huomioitava, että NI myRIO:n ilmoitettu ”+3,3 V” jännitteen todellinen vaihteluväli on 3V-3,6V ja liitännästä saatava maksimivirta on 150mA.

”+5V” liitännöistä on saatavilla 4,75V – 5,25V jännite, maksimivirta 100 mA.

”+15V” liitännästä on saatavilla 15V-16V, maksimivirta 500 mA. (User guide and specifications 2013, 23)

Laitteen tarjoilemat virrat ja jännitteet ovat niin pieniä, etteivät ne käytännössä riitä kuin ledien sytyttelyyn. Kytkentää suunniteltaessa on huomioitava, että 3V ja 5V ulos tulot eivät riitä vetämään normaalia 5V releä.

Suunnittelun lähtökohtana oli saada ohjattua neljää ulkoista laitetta operointinäytöltä. Tätä varten piti suunnitella relelähdöt. Laitteisto on apulaitteiden osalta suunniteltu käyttämään myöhemmin 230V vaihtovirtaa. Releiden ohjaus hoidetaan 12V virtalähteellä. Tämä ei jatkossa aiheuta muita muutoksia, kuin apulaitteiden uudelleen kytkennän vaihtojännitteeseen.

5.3 Positiointi

Suunnitteluvaiheessa on luotu käyttöön sopivampi positiorakenne. SFS- standardi on suunniteltu suurempia kokonaisuuksia silmällä pitäen. SFS- Standardin mukainen positiointi on liian raskas pieneen laitteistoon. Positioinnin tarkoitus on olla helposti ymmärrettävä, nopeasti muunneltava ja laitteiston nopeasti korjattavissa oleva.

Esimerkki: ”**TI-A-001**”

Ensimmäinen osa positioista kertoo, mikä toiminto on kyseessä:

TI = Lämpötilanmittaus (temperature indicator)

HU = Lämmitysvastus (heating unit)

PU = (pumping unit)

Seuraava Kirjaintunnus ilmoittaa millä kortilla logiikassa lähdöt ovat.

A = Kortin paikka logiikassa

Ja viimeinen numerosarja on juokseva numerointi laitteita varten.

001 = Juokseva laitenumerointi.

Esimerkiksi ”TI-A-001” on lämpötilan mittaus kytkettynä logiikan kortille A ja laitenumero 001.

Taulukko 6. Analogitulot.

ANALOGITULOT				
KORTTIPAikka:	TULO:	TYYPPI:	POSITIO:	KOHDE:
A	A/AI # 0	Lämpötila	TI-A-004	Lämpötila sisälämmönvaihtimen jälkeen.
	A/AI # 1	Lämpötila	TI-A-003	Lämpötila ulkolämmönvaihtimen jälkeen.
	A/AI # 2	Lämpötila	TI-A-002	Kiertovesisäiliön lämpötila.
	A/AI # 3	Lämpötila	TI-A-001	Kompostin sisälämpötila.
B	B/AI # 0	Lämpötila	TI-B-008	Lämpötila ilman esilämmittimen jälkeen.
	B/AI # 1	Lämpötila	TI-B-007	Ulkolämpötila.
	B/AI # 2	Lämpötila	TI-B-006	Lämpötila, poistovesi ulos.
	B/AI # 3	Lämpötila	TI-B-005	Lämpötila, poistovesi sisään.
C	C/AI # 0	Ei käytössä		
	C/AI # 1	Ei käytössä		

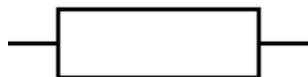
Taulukkoon 6. on dokumentoitu analogitulot, sen tyyppi, luotu positio, ja selite mistä laitteesta on kyse.

Taulukko 7. Analogilähdöt.

ANALOGILÄHDÖT					
KORTTIPAikka:	LÄHTÖ:	KOHDE:	RELELÄHTÖ:	TYYPPI:	POSITIO:
A	A/AO # 0	A/SW#3/COM#3	R#1-11,14	Pumppu	PU-A-001
	A/AO # 1	A/SW#2/COM#2	R#2-11,14	Pumppu	PU-A-002
	A/AO # 0	A/SW#1 /COM#0			
	A/AO # 1	A/SW#0/COM#1			
B	B/AO # 0	B/SW#1/COM#1	R#3-11,14	Paineilmakomp.	PU-B-003
	B/AO # 1	B/SW#0/COM#0	R#4-11,14	Lämmitysvastus	HU-B-001
	B/AO # 1	B/SW#2/COM#2			
C	C/AO # 0	Ei käytössä			
	C/AO # 1	Ei käytössä			

Taulukkoon 7. on dokumentoitu analogilähdöt, sen kohde, relelähtö, laitetyyppi, luotu positio, ja selite mistä laitteesta on kyse. Taulukko 7. on tärkeä kytkentöjen määrän kasvaessa, jotta johtimet ovat tunnistettavissa myöhemmin.

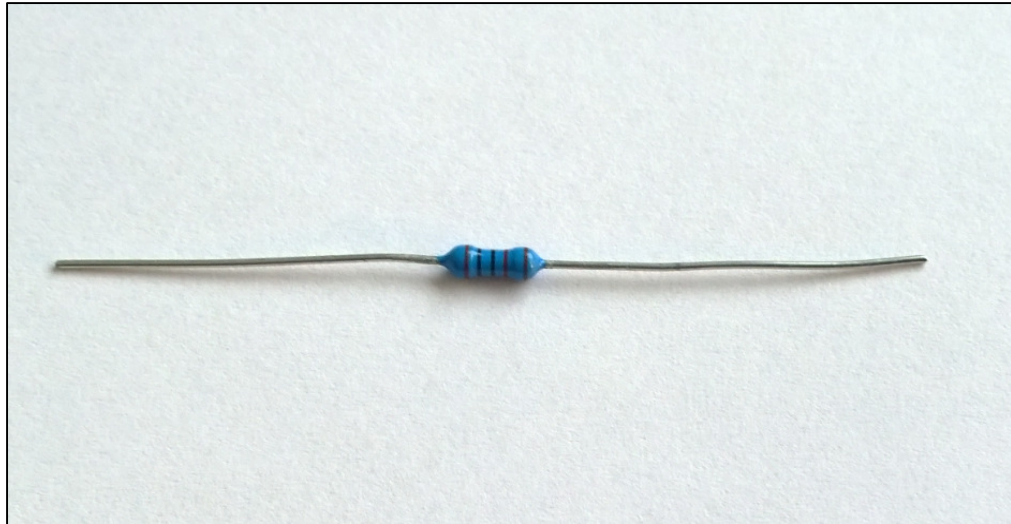
5.4 Vastus, resistori



Kuvio 28. Resistorin IEC- symboli. (Resistorguide, resistor. 2016)

Elektroniikassa vastuksen tehtävä on usein suojella jotain toista komponenttia liian suurelta virralta tai jakaa jännitettä haluttuihin osajännitteisiin. (kuvio 28.) (Ahoranta, 2002, 70)

Työssä on käytetty 10k Ω metallikalvovastusta. Käytetty 10k Ω vastus on Elfa:n valmistama aksiaalinen epoksipäällystetty ohutkalvoinen tarkkuusvastus. (kuvio 29) (ELFA, Viitattu 5.2.2016)



Kuvio 29. 10k Ω metallikalvovastus.

Taulukko 8. Vastuksen tekniset tiedot. (ELFA, Viitattu 5.2.2016)

Vastus-resistori:	arvo:	
Resistanssi@25°C	10	k Ω
Lämpötila-alue:	- 55 ... + 155	°C
Teho, max	50	VDC
Resistanssi toleranssi	$\pm 0,1$	%
Nimellisteho	0,25	W

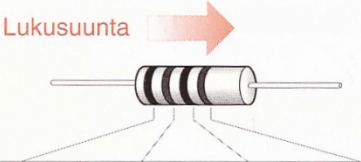
Taulukossa 8 on listattu työssä käytetyn metallikalvovastuksen keskeiset parametrit.

Taulukko 9. Vastuksen värikoodin purku.

Vastus värimerkintä:		arvo:
Ruskea	Arvo	1
Musta	Arvo	0
Musta	Arvo	0
Punainen	Kerroin	10^2
Ruskea	Toleranssi	$\pm 1 \%$
Laskutoimitus:		$100 \cdot 10^2 = 10\,000 \, \Omega \pm 1\%$

Taulukko 9, 10. Vastuksen Ω -arvo, ja toleranssi on luettavissa vastuksesta värikoodien avulla.

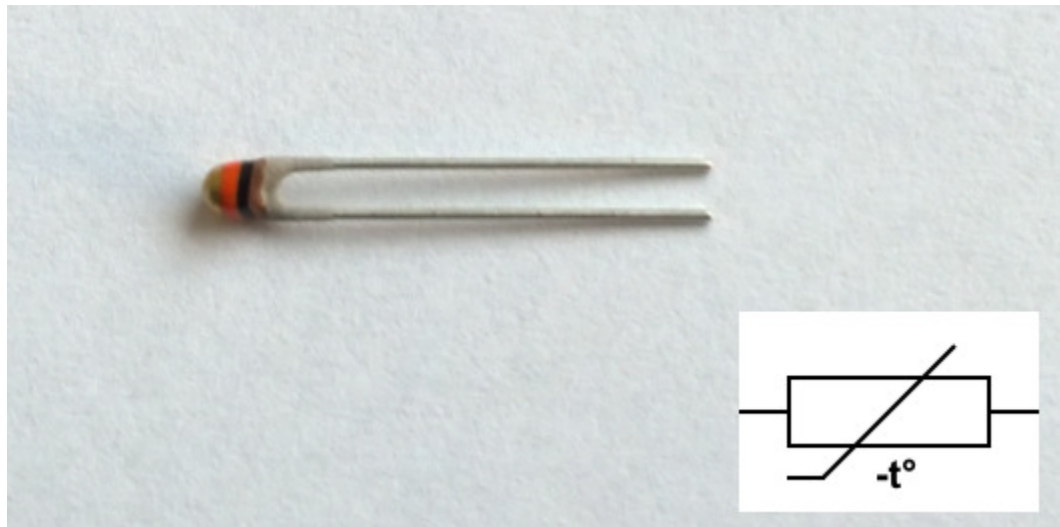
Purettaessa vastuksen värikoodia, saadaan lukuarvoksi 10 000 Ω , toleranssilla 0,1%



Tunnusväri	1. numero	2. numero	Kerroin	Toleranssi
musta	—	0	1	—
ruskea	1	1	10	$\pm 1 \%$
punainen	2	2	10^2	$\pm 2 \%$
oranssi	3	3	10^3	—
keltainen	4	4	10^4	—
vihreä	5	5	10^5	$\pm 0,5 \%$
sininen	6	6	10^6	—
violetti	7	7	10^7	—
harmaa	8	8	10^8	—
valkoinen	9	9	10^9	—
kulta	—	—	10^{-1}	$\pm 5 \%$
hopea	—	—	10^{-2}	$\pm 10 \%$
väritön	—	—		$\pm 20 \%$

Kuvio 30. Vastuksen värikooditaulukko. (Ahoranta, 2002, 75)

5.5 NTC-vastus, termistori



Kuvio 31. NTC-10k Ω -termistori ja sen IEC-symboli.

Lämpötilan mittaamiseen tarvitaan jokin elin havaitsemaan haluttua muutosta. NTC-vastus, toiselta nimeltään termistori on elektroniikan komponentti, jonka resistanssi muuttuu lämpötilan vaikutuksesta (kuvio 31). NTC- vastukset ovat valmistettu seoksesta metallinoksidea ja alitiikkisintraus prosessissa. Prosessin jälkeen anturin resistanssi laskee lämpötilan funktiona. (NTC Thermistors. Vishay bccomponets. 2012)

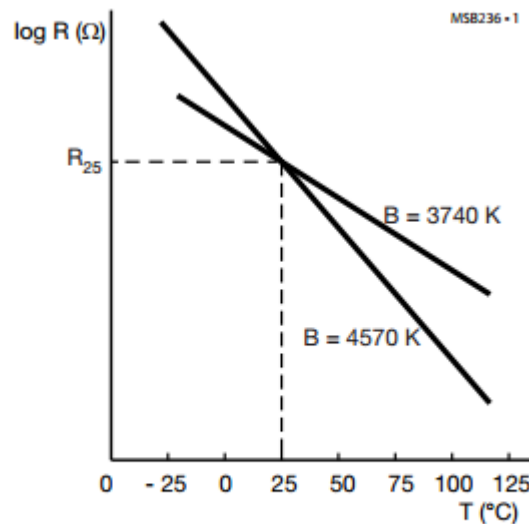


Fig. 1 - Typical resistance as a function of temperature for an NTC temperature sensor.

Kuvio 32. NTC-vastuksen vastus lämpötilan funktiona. (NTC Thermistors. Vishay bccomponets. 2012.)

NTC-vastuksia käytetään pääosin mittaus-, jännite- tai virranrajoitus tarkoituksissa erinäisissä sovelluksissa. NTC-vastuksen lämpötilaherkkyys on noin 5 kertaa parempi verrattuna pii- pohjaiseen vastaavaan mitta-elimineen. (Resistorguide, ntc- termistor. 2016)

Lämmönmittaamisessa käytetyt termistorit voidaan jakaa kahteen pääryhmään PTC ja NTC:

PTC-termistori nimitys tulee sanoista “positive temperature coefficient”, positiivinen lämpötilakerroin.

NTC-termistori “negative temperature coefficient”, negatiivinen lämpötilakerroin.

NTC- termistorin (vastuksen) lämpötilakerroin on negatiivinen, lämpötilan muuttuessa sen resistanssi pienenee, josta myös nimi on peräisin (kuvio 32) (Ahoranta, 2002, 77).

Taulukko 10. NTC-termistorin tekniset tiedot. (Vishay Intertechnology, Inc, 2012)

NTC-termistori:	arvo:	
Resistanssi@25°C	10	kΩ
Lämpötila-alue:	- 40 ... + 125	°C
Teho, max	500	mV
Resistanssi toleranssi	± 2-5	%
B25/100	3977	K
B-arvo toleranssi	± 0,75	%
Terminen aikavakio:	15	s

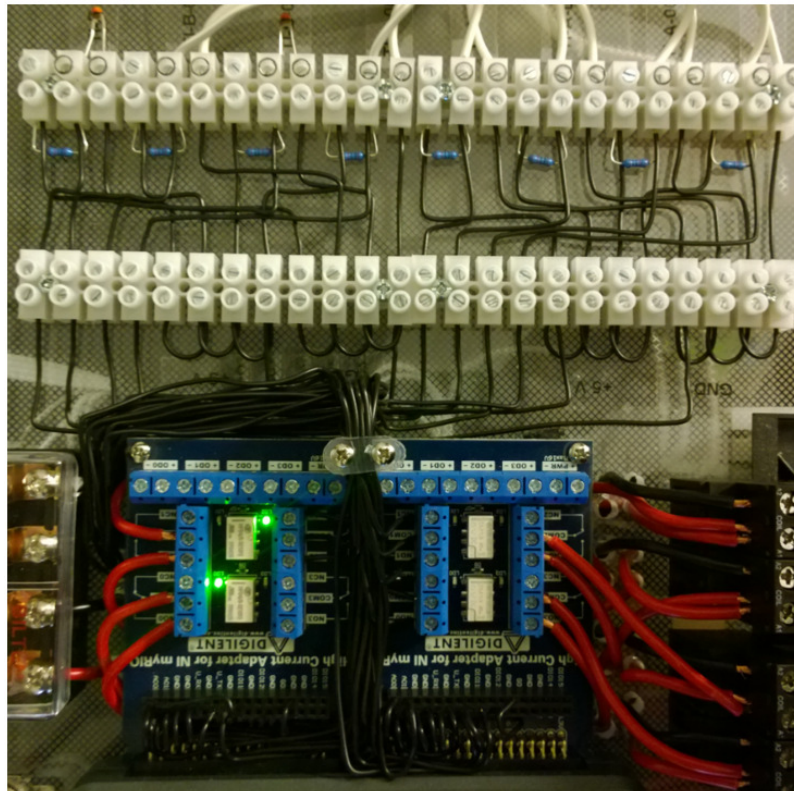
Taulukossa 10 on työssä käytetyn 10kΩ NTC termistorin keskeisiä parametrejä. NTC-termistori on tulkittavissa värikoodien perusteella samalla tavalla kuin vastus. Tämä esitettyä taulukossa 11.

Taulukko 11. NTC-termistorin värikoodin purku.

NTC-resistori värimerkintä:	arvo:	
Ruskea	Arvo	1
Musta	Arvo	0
Oranssi	Kerroin	10 ⁴
Kulta	Toleranssi	± 5 %
Laskutoimitus:	10*10 ⁴ =10 000 Ω ±5%.	

Purettaessa vastuksen värikoodia, saadaan lukuarvoksi 10 000 Ω , toleranssilla 5%.

NTC-resistori on tarkkuudeltaan huomattavasti vastusta heikompi.



Kuvio 33. Vastuksien ja NTC-antureiden kytkentä.

Kuvio 33 esittää miten mittaelimet ovat liittyneet laajennuskortteihin.

5.6 Relekortit

Releet ovat sähköisesti ohjattavia mekaanisia kytkimiä. Työssä releet ovat suuressa roolissa, koska tarve on ohjata pienellä jännitteellä/virralla suurempia jännitteitä/virtoja.

Kytkenässä releillä nostetaan jännite/virtatasoa kahteen kertaan halutulle käyttökohteelle sopivaksi. Ensimmäinen jännitetason nosto tapahtuu logiikan 5V jännitteestä lisävirtalähteen 12V jännitetasoon. Tästä 12V jännitetasosta nostetaan uudelleen releillä jännite 230V jännitetasoon apulaitteita varten. Viimeisessä nostossa myös tasavirta vaihtuu vaihtovirraksi.

Ni myRio on laajennettavissa laajennuskorteilla, jotka ovat liitettävissä MXP-, ja MSP-liitäntöihin. Saatavilla on monenlaisia kortteja, jotka ovat räätälöityjä erilaisiin käyttötarkoituksiinsa. Kortteja löytyy robottien ohjauksesta konenäkötoimintoihin. "Shield"

korteilla Ni myRIO voidaan laajentaa käyttämään Arduino ympäristöön suunniteltuja lisäkortteja. (High Current Adapter for NI myRIO. 2015, 1)

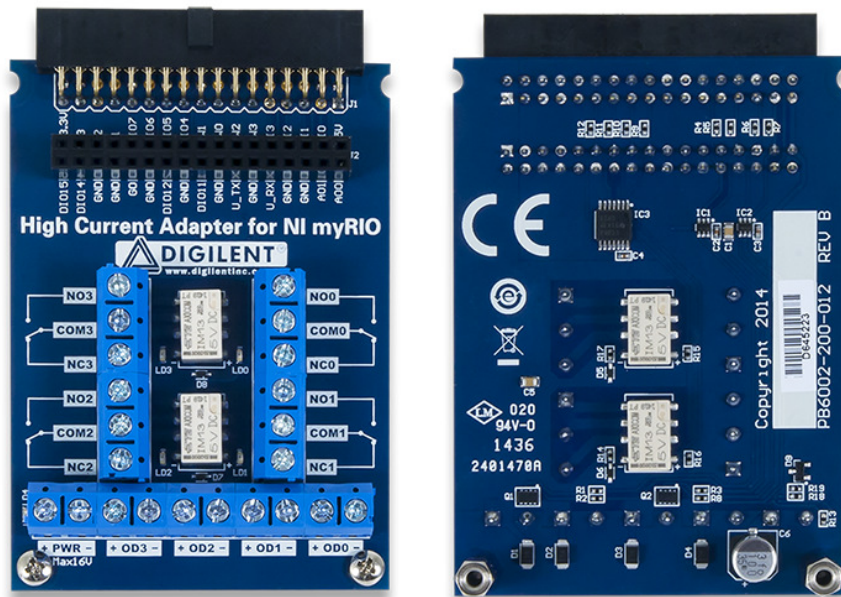


Kuvio 34. Digilent High Current Adapter for myRIO.

”High current adapter for Ni myRIO”, eli HCA on nimensä mukaisesti suunniteltu ohjaamaan suurempia virtoja mihin itse logiikan elektroniikka pystyy (kuvio 34). HCA-kortti vaatii toimiakseen ulkoisen virtalähteen. HCA-kortin maksimijännite on 3V-16V ja kestää 4,1 A hetkellisen virran (alle 5 sekuntia).

Jatkuvan virrankesto on 3,0A, 25°C lämpötilassa. Toimintalämpötilan nousu aiheuttaa muutoksen sallitulle virralle. 85°C lämpötilassa enää maksimivirta on 2,2 A. Normaaliolosuhteissa kortti kykenee 48 W tehon syöttöön. (High Current Adapter for NI myRIO 2015,1)

Korttia ei ole suunniteltu toimimaan suurempien laitteiden ohjaimena. Kortilla ohjataan suurempia releitä, jotka taas ohjaavat haluttuja laitteita.

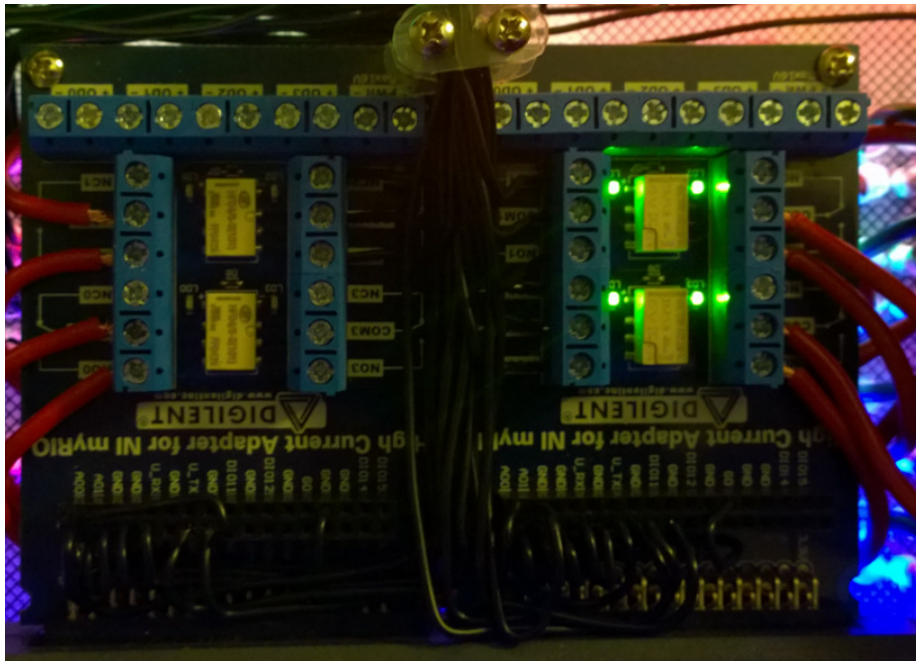


Kuvio 35. DCA- relekortti. (High Current Adapter for NI myRIO. Digilent Inc.)

HCA-kortissa on neljä kappaletta kytkettäviä vaihtoreleitä (kuvio 35). Kaikki näistä neljästä voidaan kytkeä joko tilaan ”normaalisti auki” (NO), tai ”normaalisti kiinni” (NC) tai näiden yhdistelminä. Molemmat toiminnot ovat hyödynnettävissä vuorotellen. Tämä vaihtokytkein toiminto on kätevä, mikäli toiminto pitää sammuttaa samaan aikaan kun toinen käynnistää.

Tätä vaihtokoskettimen luomaa ominaisuutta on hyödynnetty merkkivalojen ohjauksessa. (NO)-asennossa palaa sininen taustavalo ja relen vaihtaessa tilaansa (NC)-asentoon syttyy punainen taustavalo ja myös ohjattu laite käynnistyy.

Kortista löytyy releliitäntöjen lisäksi ”+OD0-3” liittimet ja ”-OD-0-3” haluttua kytkentätapaa varten. Kortissa on ledi kullekin relelle ilmaisemassa relen tilaa. Ledi palaa relen ollessa vetäneessä tilassa (kuvio 36).

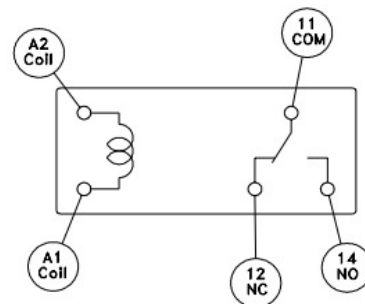


Kuvio 36. Ledit ilmaisevat relen tilaa. Valo palaa relen ollessa vetäenäänä.

5.7 Ulkoiset relet

Työssä käytettiin Goodsky PI-35BE relekantaa. Relekannat ovat suoraan liitettävissä standardin mukaisen 35mm DIN-kiskoon (kuvio 37).

PI-35BE

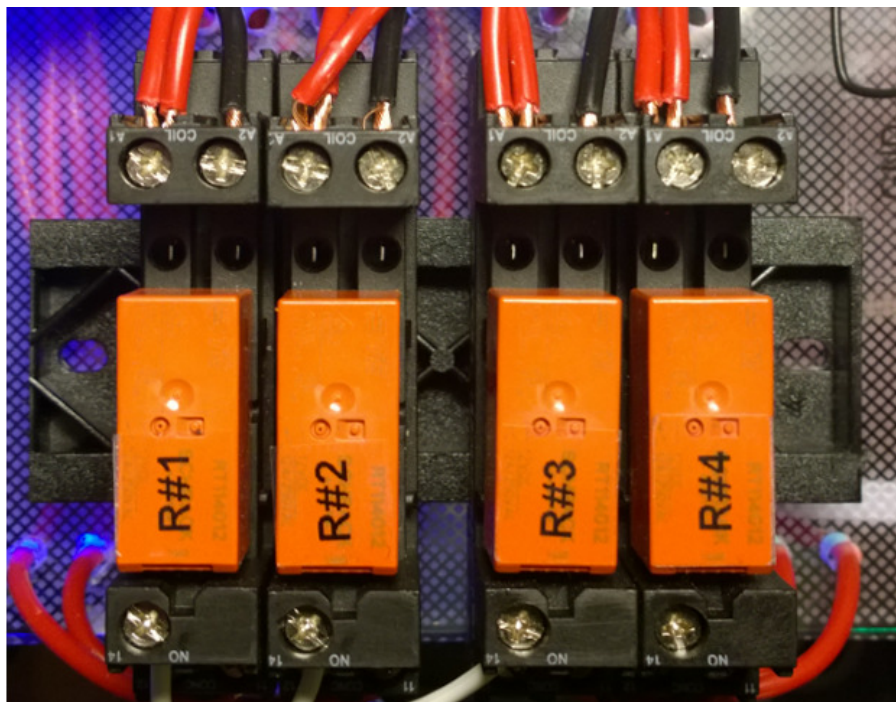


Kuvio 37. Goodsky PI-35BE. (Socket illustration, PI-35BE. Impulse Automation Ltd)



Kuvio 38. Goodsky PI-35BE ja Schrack 12VDC rele.

Releeksi työhön valittiin Schrack 12VDC 12 A tasavirtarele (kuvio 38). Releen toiminta lämpötila on $-25^{\circ}\text{C}/+80^{\circ}\text{C}$. Maksimivirta 12A ja jännite 250 VDC. Tämä riittää suunniteltujen laitteiden ohjaamiseen. Releisiin kytkettäviä laitteita ovat pumput, lämmitysvastus ja paineilmakompressori (kuvio 39). Tarvittaessa tällä releellä voi ohjata suurempaa releä tai vaikka tarvittaessa moottorinohjainta. Relessä on vaihtokosketin (NO) 11/12 ja (NC) 11/14.

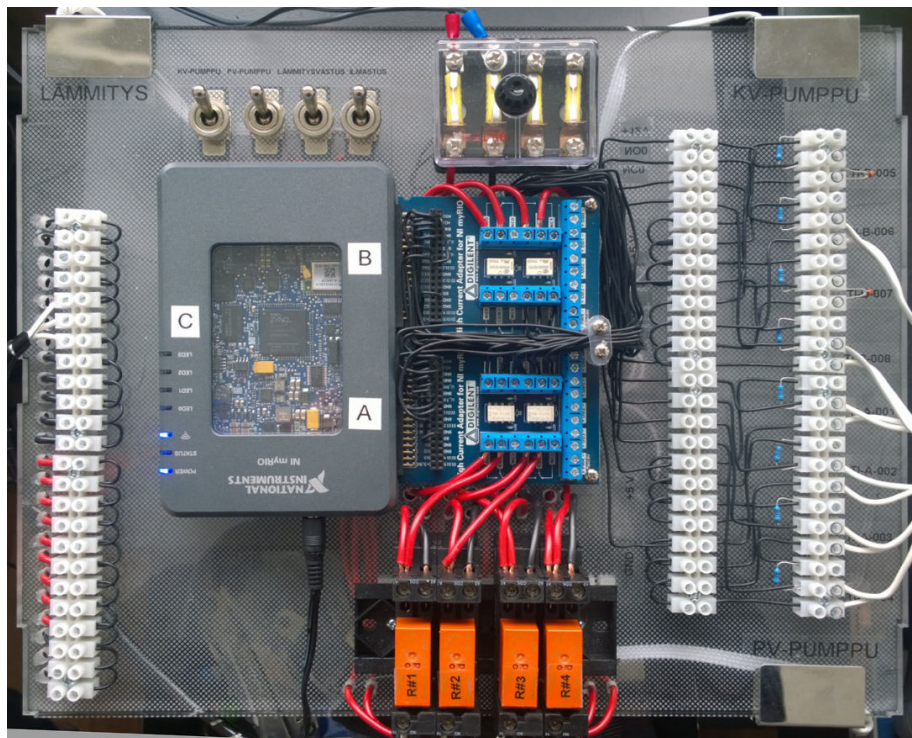


Kuvio 39. Releet asennettuna ohjauspaneeliin.

5V jännitteellä ohjataan relekortin releettä, tämän releen kontaktipuolelle tuodaan 12V jännite, joka taas ohjaa suuremman Schrack 12VDC releettä. Tämän releen kosketin puolelle voi kytkeä vaihtovirtalaitteita kuten lämmitysvastuksen ja pumppuja.

5.8 Kytkentä

NI MyRio laite itsessään ei tarvitse toimiakseen kytkentöjä virtajohdon lisäksi. Kun taas toimintojen suorittamiseen tarvitaan huomattava määrä kytkentöjä. MyRio kuviossa 40. kytkettynä kytkinpaneeliin.

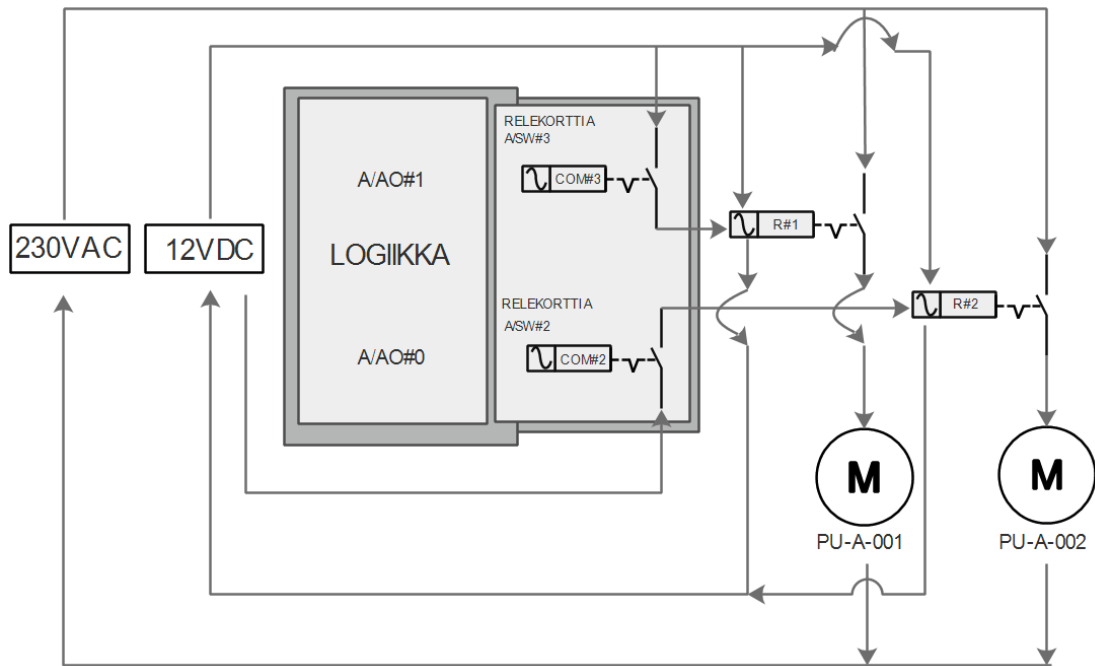


Kuvio 40. Kytkentä kompostorin automaatiota varten.

5.9 Kiertovesipumppu

Kiertovesipumppu (PU-A-001) käynnistetään valvomonäytöstä. Pumpulle on myös käsikäyttöinen pakkokäynnistys suoraan kytkentätaulussa, mikäli laitetta halutaan ohjata paikan päällä.

Logiikka antaa ohjaussignaalin, joka siirtyy logiikan laajennusliitäntöjen kautta relekortille. Relekortilla signaali on saatavilla lähdöstä (A/AO#0). AO tieto siirretään kytkennällä relekortin sisääntuloon (A/SW#3). Tämä ohjaa relettä (A/COM#3). A/COM#3 relelähtö ohjaa ulkoista relettä (R#1), johon pumppu on liitetty. Releessä R#1 kytkentä on tehty ”normaalisti avoimina” olevan kytkimiin 11 ja 14. Kytkimet ohjaavat kiertovesipumpun toimintaa (kuvio 41).



Kuvio 41. Kytkenäkaavio, relekortti A.

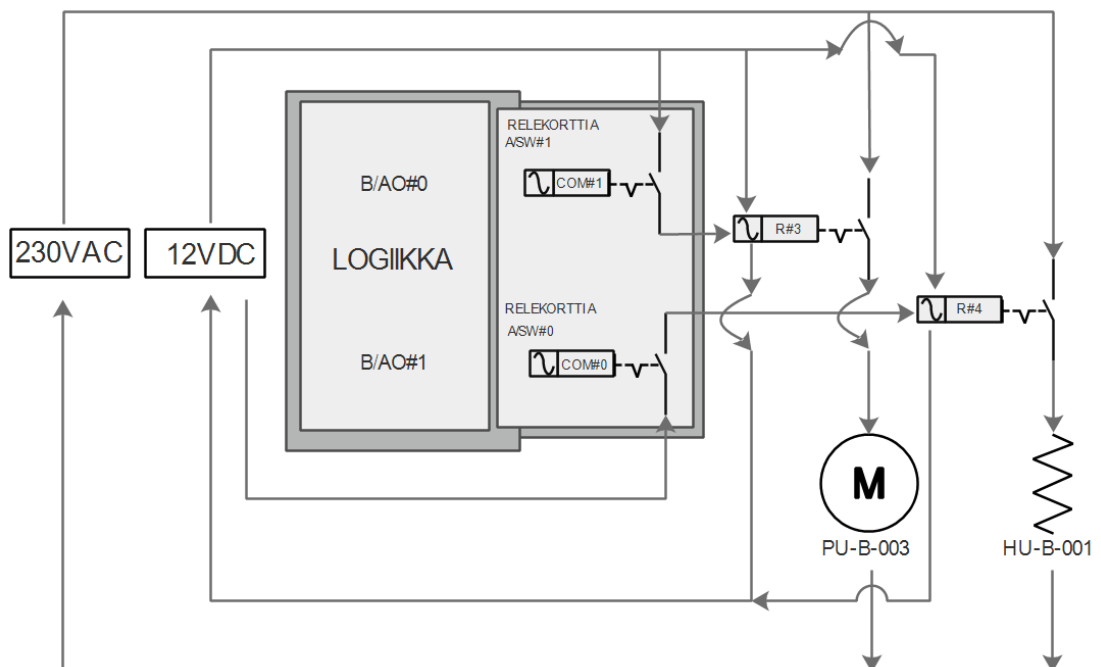
5.10 Poistovesipumppu

Kiertovesipumppu (PU-A-002) käynnistetään valvomonäytöstä. Pumpulle on myös käsikäyttöinen pakkokäynnistys suoraan kytkentätaulussa, mikäli laitetta halutaan ohjata paikan päällä.

Logiikka antaa ohjaussignaalin, joka siirtyy logiikan laajennusliitäntöjen kautta relekortille. Relekortilla signaali on saatavilla AO lähdöstä (A/AO#1). AO tieto siirretään kytkennällä relekortin sisääntuloon (A/SW#2). Tämä ohjaa releettä (A/COM#2). A/COM#2 relelähde ohjaa ulkoista releettä (R#2), johon pumppu on liitetty. Releessä R#2 kytkentä on tehty ”normaalisti avoimena” olevan kytkimiin 11 ja 14. Kytkimet ohjaavat poistovesipumpun toimintaa (kuvio 41).

5.11 Lämmitysvastus

Lämmitysvastus (HU-B-001) käynnistetään logiikasta valvomonäytöstä. Vastukselle on myös käsikäyttöinen pakkokäynnistys suoraan kytkentätaulussa, mikäli laitetta halutaan ohjata paikan päällä.



Kuvio 42 KytKentäkaavio, relekortti B.

Logiikka antaa ohjaussignaalin, joka siirtyy logiikan laajennusliitäntöjen kautta relekortille. Relekortilla signaali on saatavilla AO lähdöstä (B/AO#1). AO tieto siirretään

kytkennällä relekortin sisääntuloon (B/SW#0). Tämä ohjaa releettä (B/COM#0).

B/COM#0 relelähtö ohjaa ulkoista releettä (R#3), johon lämmitysvastus on liitetty.

Releessä R#3 kytkentä on tehty ”normaalisti avoimina” olevan kytkimiin 11 ja 14. Kytkimet ohjaavat lämmitysvastuksen toimintaa (kuvio 42).

5.12 Ilmastus

Ilmastuksen paineilmakompressori (PU-B-003) käynnistetään logiikasta valvomonäytöstä. Paineilmakompressorille on myös käsikäyttöinen pakkokäynnistys suoraan kytkentätaulussa, mikäli laitetta halutaan ohjata paikan päällä.

Logiikka antaa ohjaussignaalin, joka siirtyy logiikan laajennusliitäntöjen kautta relekortille. Relekortilla signaali on saatavilla AO lähdöstä (B/AO#0). AO tieto siirretään kytkennällä relekortin sisääntuloon (B/SW#1). Tämä ohjaa releettä (B/COM#1).

B/COM#1 relelähtö ohjaa ulkoista releettä (R#4), johon ilmastuksen paineilmakompressori on liitetty. Releessä R#4 kytkentä on tehty ”normaalisti avoimina” olevan kytkimiin 11 ja 14. Kytkimet ohjaavat ilmastuksen toimintaa (kuvio 42).

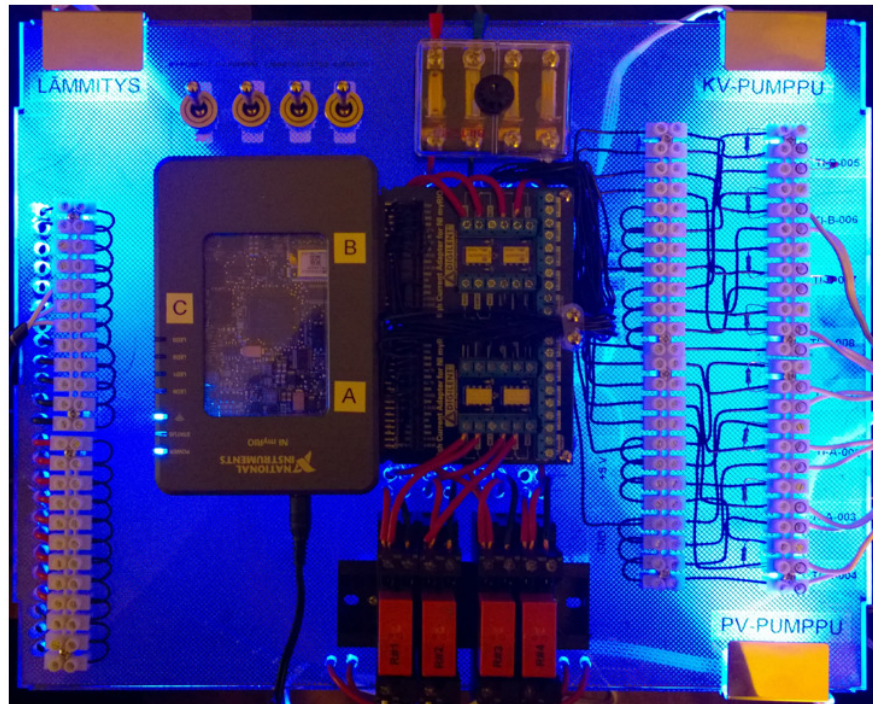
5.13 Merkkivalot

Laitteen toimintaa kuvataan myös visuaalisilla merkkivaloilla. Molemmat kiertovesipumput ja lämmitysvastus indikoivat toimintansa suoraan kytkentäpaneelissa.

Taulukko 12 .Taustavalojen kytkentätaulukko.

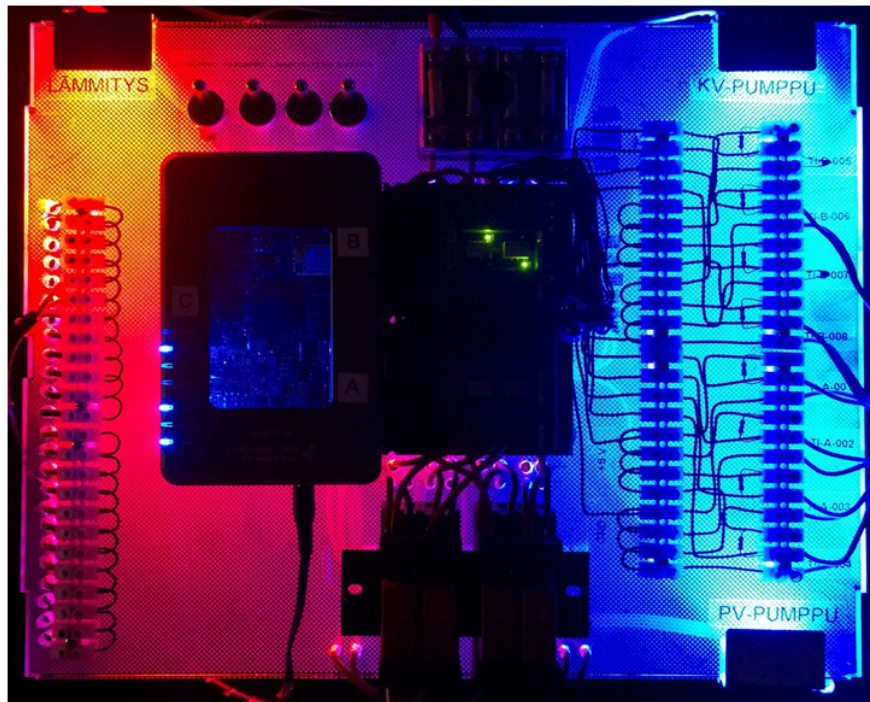
TAUSTAVALAISTUS					
KORTTIPAikka:	LÄHTÖ:	KOHDE:	RELELÄHTÖ:	TYYPPI:	
A	A/AO # 0	A/SW#1 /COM#0	NO#0	Sininen	KV-pumppu, taustavalo
	A/AO # 0	A/SW#1 /COM#0	NC#0	Punainen	KV-pumppu, taustavalo
	A/AO # 1	A/SW#0/COM#1	NO#1	Sininen	PV-pumppu, taustavalo
	A/AO # 1	A/SW#0/COM#1	NC#1	Punainen	PV-pumppu, taustavalo
B	B/AO # 0	B/SW#1/COM#0	NO#2	Sininen	Lämmitysvastus, taustavalot
	B/AO # 0	B/SW#1/COM#0	NC#2	Punainen	Lämmitysvastus, taustavalot
	B/AO # 1	B/SW#0/COM#0			
	B/AO # 1	B/SW#2/COM#2			
C	C/AO # 0			Ei rele lähtöä	
	C/AO # 1			Ei rele lähtöä	

Releiden vaihtokytkimen ominaisuutta on hyödynnetty taustavalaisussa. (NO) asennossa palaa asetettu väri ja kun rele vaihtaa tilaansa (NC):ksi, vaihtuu myös väri halutuksi (taulukko 12). Taustavalaisulla on muutakin kuin ulkonäöllinen funktio. Taustavalaistus ilmaisee laitteiden tilan. Näin pikaisella vilkaisulla voi hahmottaa mitä laitteessa tapahtuu.



Kuvio 43. Taustavalot, mikään laite ei ole päällä.

Toimintojen ollessa levossa yleisväritys on sininen (kuvio 43).

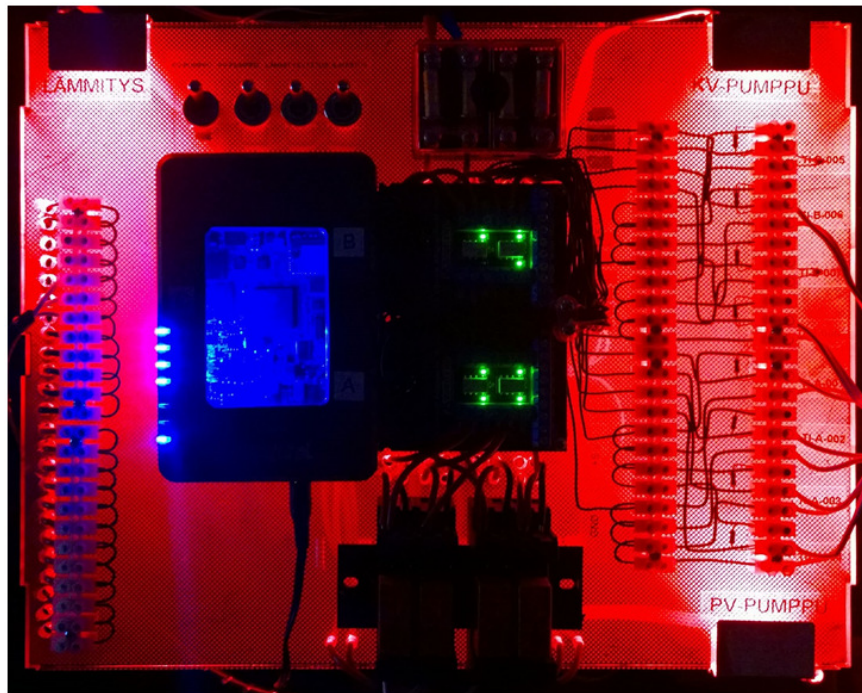


Kuvio 44. Lämmitysvastus kytketty päälle.

Lämmitysvastuksen ollessa kytketty päälle, tilaa kuvataan punaisella värillä (kuvio 44). Punainen tarkoittaa normaalista poikkeavaa toimintaa. Kytkentä on toteutettu jakamalla B/AO#0 signaali.

Toinen jaetuista B/AO#0 signaaleista ohjaan relekortin B/SW#0-liittimelle, joka relen R#3 ohjaamana käynnistää lämmitysvastuksen. Toinen tuodaan liittimelle B/SW#2 mikä ohjaa releä B/COM#2. Kosketin (NO) näyttävät sinistä väriä, koskettimet (NC) vaihtavat värin punaiseksi.

Muut valokytkennät ovat toteutettu samalla tavalla.



Kuvio 45. Kaikki toiminnot käynnissä yhtä aikaa.

Kuviossa 45, kaikki toiminnot yhtä aikaa käynnissä ja kytkentäpaneelin yleisväritys on punainen. Laitteiden tila on näin helposti havaittavissa.

5.14 Labview

NI Labview on National Instrumentsin valmistama ohjelmisto, joka pääosin on tarkoitettu yrityksen omien tuotteiden käyttöön. Harrastelijat kuitenkin ovat pitkään hyödyntäneet ohjelmistoa myös halvemman avoimen ympäristön Arduino laitteiden kanssa. Jotkut ovat sen saaneet toimimaan myös Siemens LOGO!n kanssa.

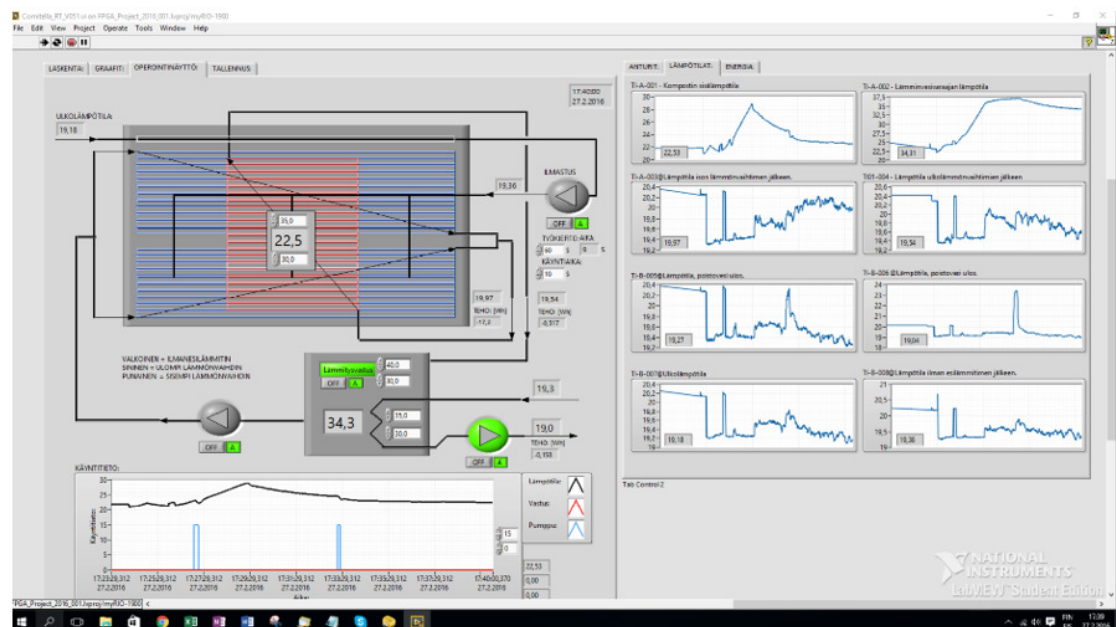
NI Labview ohjelmistolla voidaan kerätä mittaustietoa ja prosessoida signaaleja, ohjata ja säätää mittaa ja ohjauslaitteita analogi- ja digitaalisignaalien avulla. (NI Labview 2016)

Ohjelmasta tekee hyvän ja helposti lähestyttävän se, että ohjelma toimii niin sanotussa graafisessa ohjelmointiympäristössä. Monimutkaista ohjelmointikieltä ei tarvitse osata, vaan oman ohjelman luominen toimii pitkälti valmiiden moduulien pohjalta, joilla rakennetaan haluttu toiminto.

Ohjelman rakentaminen moduuleista saattaa tuntua rajoitteelta, mutta toimintoja pystyy rakentamaan hyvin helposti laskennan ja vertailun ympärille. Esimerkiksi lopputuloksen kannalta ei ole merkitystä, onko yhteenlasku tai vertailutoiminto tehty suoraan koodiksi kirjoittamalla tai helposti ja nopeasti ”raahaa, tiputa ja johdota” moduuleita käyttämällä. Tämä vain vaatii alkuun normaaliohjelmoinnista poikkeavan ajattelutavan.

Esimerkkinä valmiista moduuleista voisi mainita tutut normaalit laskentatoiminnot, plus, miinus, jako, kerto, vertaavat toiminnot, jos, tai, tosi, epätosi, yhtä suuri, suurempi kuin ja pienempi kuin.

5.15 Kompostorin ohjaus

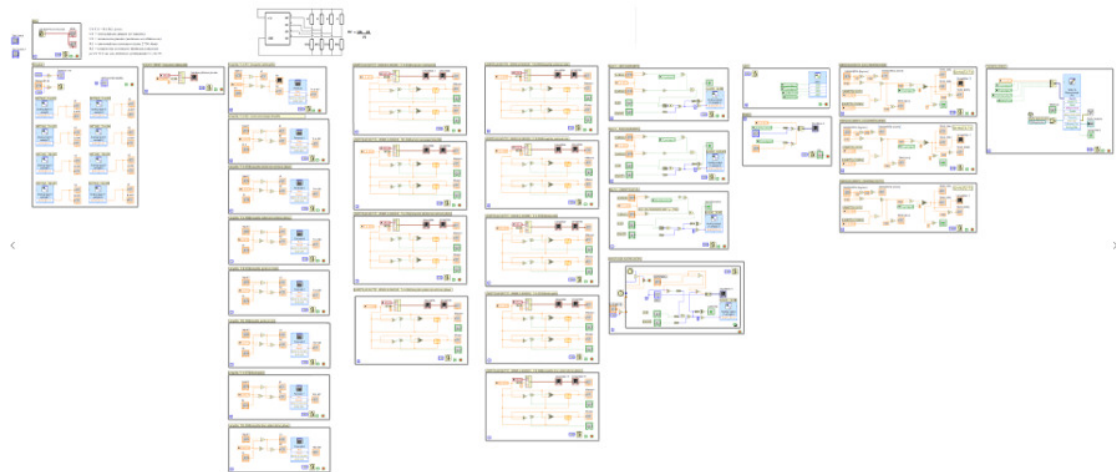


Kuvio 46. Valvomonäyttö.

Kompostorin mittausohjelman rakentaminen lähti liikkeelle tarpeesta saada tarvittava määrä mittauksia suoritettua. Kompostin operointia varten on rakennettu valvomonäyttö NI Labview ohjelmalla (kuvio 46). Tarkoituksena oli luoda yhdellä silmäyksellä koko tilannekuvan hahmottava rakenne. Ohjelmaan on rakennettu tarvittavat apulaitteet ja niiden ohjaukset.

Kaikki ohjauspiirit ovat operoitavissa näytöltä joko automaatti- tai manuaaliasennossa. Jokainen apulaite on myös operoitavissa suoraan kytkentäpaneelista käsikäyttöisellä käyttökytkimellä.

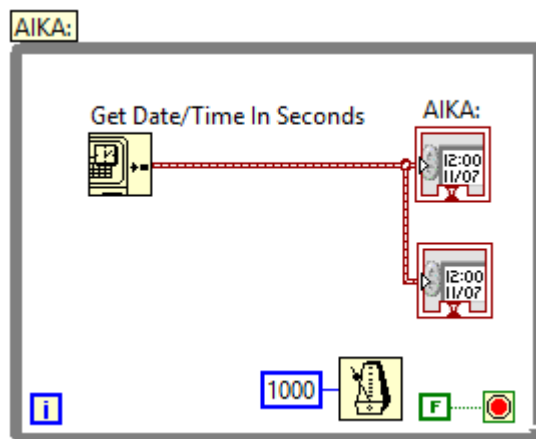
5.16 Kompostorin ohjelma



Kuvio 47. Labview kompostin ohjelma.

Kuviossa 47. esitettynä Labview ohjelmalla rakennettu kompostin ohjelma. Seuraavissa kappaleissa käydään läpi keskeisimmät osiot kompostorin automaatio-ohjelmasta.

5.16.1 Aika ja päivämäärä

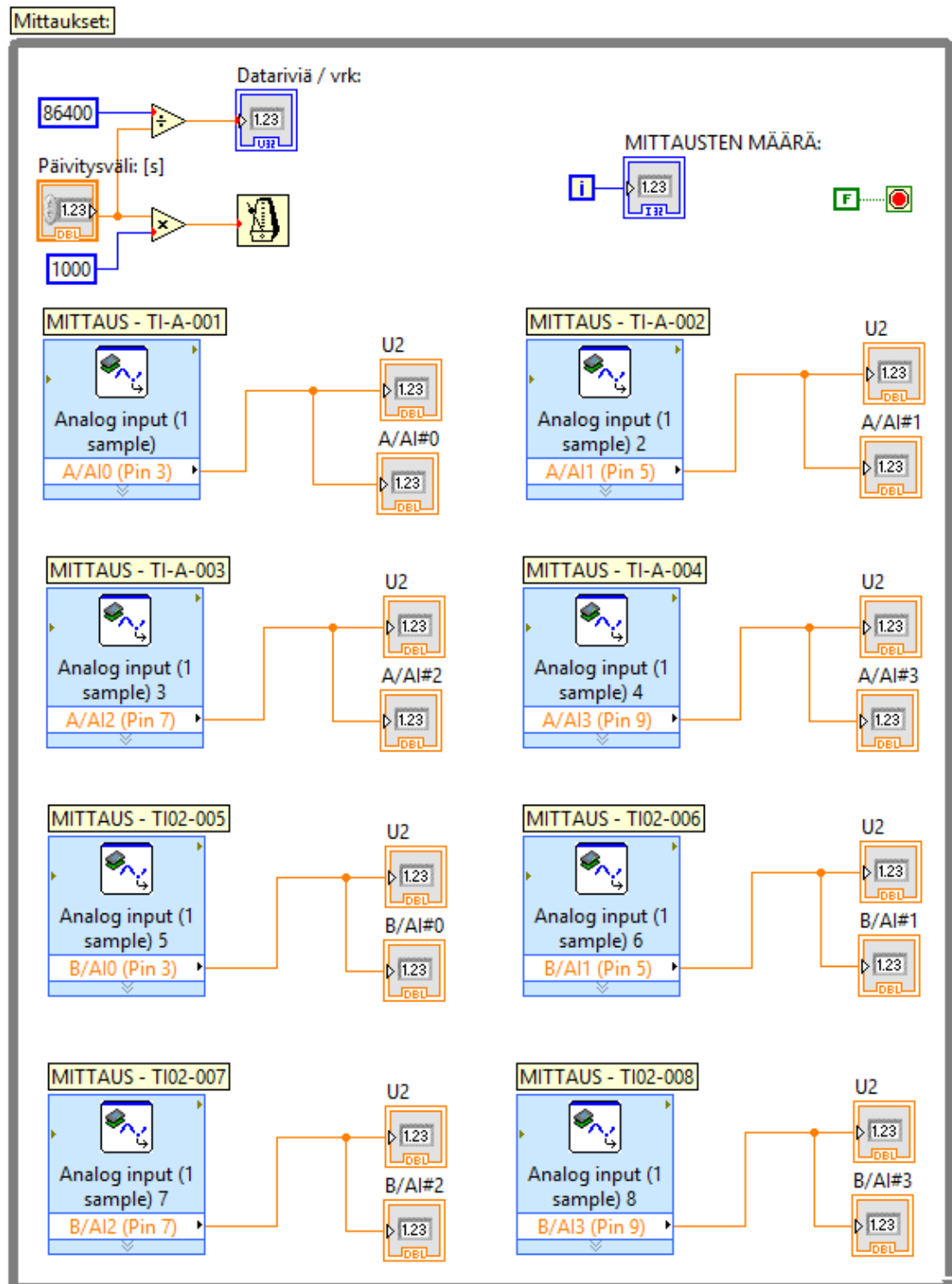


Kuvio 48. Ajan käsittely

Päivämäärä ja kellonaika haetaan suoraan laitteelta (kuvio 48). Tämän ratkaisun heikko puoli on siinä, että myRIO:ssa ei ole sisäistä paristoa. Tämä aiheuttaa päivämäärän uudelleen asettamisen logiikalle joka kerta, kun virta logiikalta katkaistaan.

Päivämäärä- ja aikatieto haettavissa myös tietokoneelta. Tässäkin on omat heikkouksensa, ja se vaatisi tietokoneen läsnäolon jatkuvasti kytkettynä logiikkaan. Viisainta olisi varmistaa ulkoisella virtalähteellä, ettei laite pääse sammumaan.

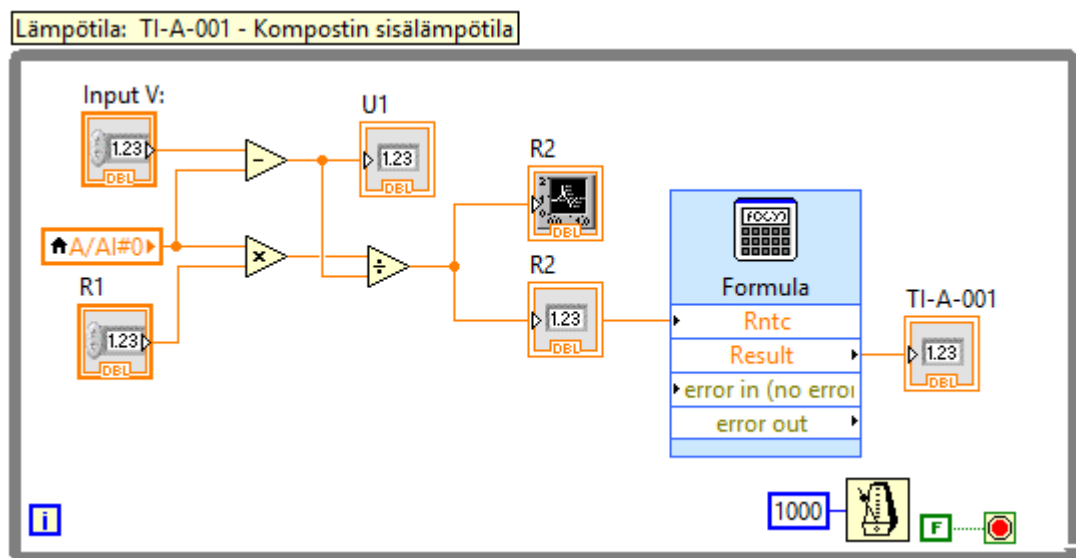
5.16.2 Mittaukset



Kuvio 49. Mittaukset.

Labview ohjelmalla luetaan jänniteviestiä antureilta. Lämpötilamittauksia on 8 kappaletta (kuvio 49).

5.17 Laskenta



Kuvio 50. Lämpötila.

Lämpötilan laskenta lohkoja on jokaiselle lämpötilamittaukselle omansa. Kuviossa 50. nähtävillä lämpötilamittauksen TI-A-001 ohjelmalohko. Muut lämpötilan mittauslohkot eivät eroa merkittävästi toisistaan.

Jotta voidaan selvittää NTC-termistorin resistanssi, lasketaan se tunnettujen arvojen perusteella

$$R2 = \frac{R1 * U2}{U1}$$

R1 etuvastuksen resistanssi tunnetaan. Se on anturin nimellisresistanssi. Arvoltaan 10kΩ. Yleismittarilla mitattuna tarkemmin 9,88k Ω. U1 voidaan saada selville, kun vähennetään syöttöjännitteestä (5V) anturikytkennästä mitattu todellinen jännite U2.

$$T_{(R)} = \left(A_1 + B_1 \ln \frac{R}{R_{\text{ref}}} + C_1 \ln^2 \frac{R}{R_{\text{ref}}} + D_1 \ln^3 \frac{R}{R_{\text{ref}}} \right)^{-1}$$

Kuvio 51. NTC-termistorin lämpötilan laskukaava. (NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012)

Mittaus- ja laskentatiedon perusteella selvitetty R2- resistanssi siirretään NI Labview ohjelmiston kaavankäsittelyyn. NTC-termistorin lämpötila voidaan selvittää laskenta-kaavan avulla (kuvio 51.)

Kaavaa varten tarvitaan kyseisen NTC-termistorin fyysisiä arvoja. Nämä saadaan valmistajan tuottamasta datalehddestä. Datalehddestä luetaan resistanssiarvon perusteella termistorin lämpötilakerroin, "B_{25/85}"-arvo. "B_{25/85}" on kulmakerroin lämpötila alueella 25°C - 85°C. Arvo määritetään alla olevalla kaavalla.

$$B_{25/85} = \ln \left(\frac{R_{85}}{R_{25}} \right) / \left(\frac{1}{358.15} - \frac{1}{298.15} \right)$$

(NTC Thermistors. Vishay bccomponents. 2012)

B_{25/85} työssä käytetyille 10kΩ vastukselle on taulukkoarvo 3977 (kuvio 52).

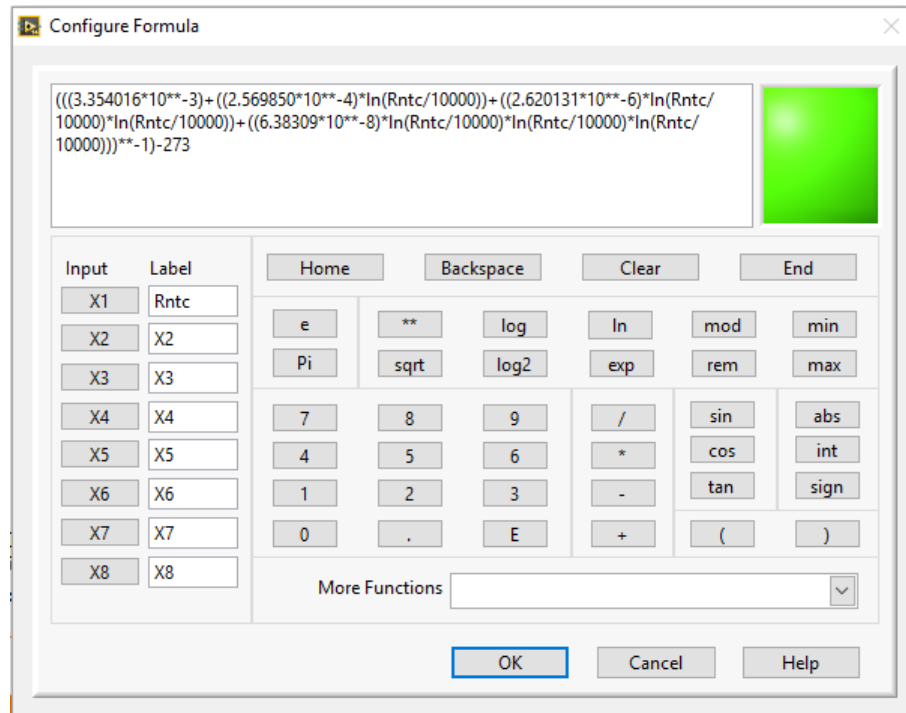
ELECTRICAL DATA AND ORDERING INFORMATION								
R ₂₅ (Ω)	B _{25/85} -VALUE (K)	± %	UL APPROVED (Y/N)	SAP MATERIAL NUMBER NTCLE100E3....B0/T1/T2 ⁽²⁾	OLD 12NC CODE 2381 640 3/4/6.... ⁽¹⁾	COLOR CODE ⁽³⁾		
						I	II	III
470	3560	1.5	Y	471*B0	*471	Yellow	Violet	Brown
680	3560	1.5	Y	681*B0	*681	Blue	Grey	Brown
1000	3528	0.5	Y	102*B0	*102	Brown	Black	Red
1500	3528	0.5	Y	152*B0	*152	Brown	Green	Red
2000	3528	0.5	Y	202*B0	*202	Red	Black	Red
2200	3977	0.75	Y	222*B0	*222	Red	Red	Red
2700	3977	0.75	Y	272*B0	*272	Red	violet	Red
3300	3977	0.75	Y	332*B0	*332	Orange	Orange	Red
4700	3977	0.75	Y	472*B0	*472	Yellow	Violet	Red
5000	3977	0.75	Y	502*B0	*502	Green	Black	Red
6800	3977	0.75	Y	682*B0	*682	Blue	Grey	Red
10 000	3977	0.75	Y	103*B0	*103	Brown	Black	Orange
12 000	3740	2	Y	123*B0	*123	Brown	Red	Orange
15 000	3740	2	Y	153*B0	*153	Brown	Green	Orange
22 000	3740	2	Y	223*B0	*223	Red	Red	Orange
33 000	4090	1.5	Y	333*B0	*333	Orange	Orange	Orange
47 000	4090	1.5	Y	473*B0	*473	Yellow	Violet	Orange
50 000	4190	1.5	Y	503*B0	*503	Green	Black	Orange
68 000	4190	1.5	Y	683*B0	*683	Blue	Grey	Orange
100 000	4190	1.5	Y	104*B0	*104	Brown	Black	Yellow
150 000	4370	2.5	Y	154*B0	*154	Brown	Green	Yellow
220 000	4370	2.5	Y	224*B0	*224	Red	Red	Yellow
330 000	4570	1.5	N	334*B0	*334	Orange	Orange	Yellow
470 000	4570	1.5	N	474*B0	*474	Yellow	Violet	Yellow

Kuvio 52. Electric data and ordering information. (NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012).

PARAMETER FOR DETERMINING NOMINAL RESISTANCE VALUES											
NUMBER	B _{25/85} (K)	NAME	TOL. B (%)	A	B (K)	C (K ²)	D (K ³)	A ₁	B ₁ (K ⁻¹)	C ₁ (K ⁻²)	D ₁ (K ⁻³)
1	2880	Mat O. with Bn = 2880K	3	-9.094	2251.74	229098	-2.744820E+07	3.354016E-03	3.495020E-04	2.095959E-06	4.260615E-07
2	2990	Mat P. with Bn = 3990K	3	-10.2296	2887.62	132336	-2.502510E+07	3.354016E-03	3.415560E-04	4.955455E-06	4.364236E-07
3	3041	Mat Q. with Bn = 3041K	3	-11.1334	3658.73	-102895	5.166520E+05	3.354016E-03	3.349290E-04	3.683843E-06	7.050455E-07
4	3136	Mat R. with Bn = 3136K	3	-12.4493	4702.74	-402687	3.196830E+07	3.354016E-03	3.243880E-04	2.658012E-06	-2.701560E-07
5	3390	Mat S. with Bn = 3390K	3	-12.6814	4391.97	-232807	1.509643E+07	3.354016E-03	2.993410E-04	2.135133E-06	-5.672000E-09
6	3528 (1)	Mat I. with Bn = 3528K	0.5	-12.0596	3687.667	-7617.13	-5.914730E+06	3.354016E-03	2.909670E-04	1.632136E-06	7.192200E-08
	3528 (2)			-21.0704	11903.95	-2504699	2.470338E+08	3.354016E-03	2.933908E-04	3.494314E-06	-7.712690E-07
7	3560	Mat H. with Bn = 3560K	1.5	-13.0723	4190.574	-47158.4	-1.199256E+07	3.354016E-03	2.884193E-04	4.118032E-06	1.786790E-07
8	3740	Mat B. with Bn = 3740K	2	-13.8973	4557.725	-98275	-7.522357E+06	3.354016E-03	2.744032E-04	3.666944E-06	1.375492E-07
9	3977	Mat A. with Bn = 3977K	0.75	-14.6337	4791.842	-115334	-3.730535E+06	3.354016E-03	2.569850E-04	2.620131E-06	6.383091E-08
10	4090	Mat C. with Bn = 4090K	1.5	-15.5322	5229.973	-160451	-5.414091E+06	3.354016E-03	2.519107E-04	3.510939E-06	1.105179E-07
11	4190	Mat D. with Bn = 4190K	1.5	-16.0349	5459.339	-191141	-3.328322E+06	3.354016E-03	2.460382E-04	3.405377E-06	1.034240E-07
12	4370	Mat E. with Bn = 4370K	2.5	-16.8717	5759.15	-194267	-6.869149E+06	3.354016E-03	2.367720E-04	3.585140E-06	1.255349E-07
13	4570	Mat F. with Bn = 4570K	1.5	-17.6439	6022.726	-203157	-7.183526E+06	3.354016E-03	2.264097E-04	3.278184E-06	1.097628E-07

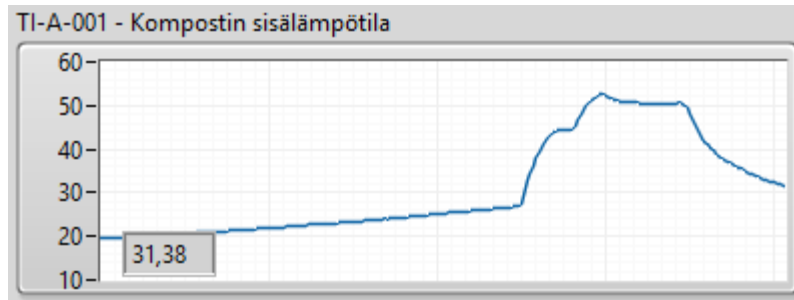
Kuvio 53. NTC-termistorin datalehden parametritaulukko. (NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012).

Tällä datalehden B_{25/85} kulmakertoimella "3977" haetaan datalehdestä muut laskentaan tarvittavat tiedot. A₁, B₁, C₁, D₁ (kuvio 53).



Kuvio 54. Labview laskentakaavaeditori.

Kuviossa 54. Ni Labview ohjelmiston kaavanlaskentaan syötetään NTC-termistorin lämpötilan laskukaava (kuvio 51.) ja datalehdessä saadut valmistajan ilmoittamat arvot A_1 , B_1 , C_1 , D_1 (kuvio 53.) ja tunnetut arvot kuten NTC-termistorin resistanssi.

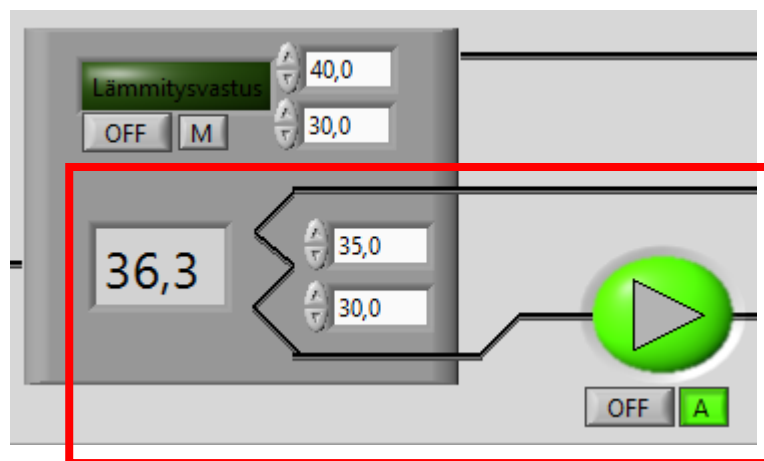


Kuvio 55. TI-A-001 kuvaaja ja lämpötila.

Lopputuloksena ulos saadaan mitattu lämpötila. Kuviossa 55. esitetty lämpötila graafisesti ja numeerisesti.

5.17.1 Releohjaukset

Ohjelmisto ohjaa laitteeseen liitettäviä relekortteja, jotka taas ohjaavat suuremman jännitetasen releitä. Releille on myös rakennettu käsikäyttökytkimet. Jokaisella relellä on rakennettuna samanlainen ohjauspiiri.

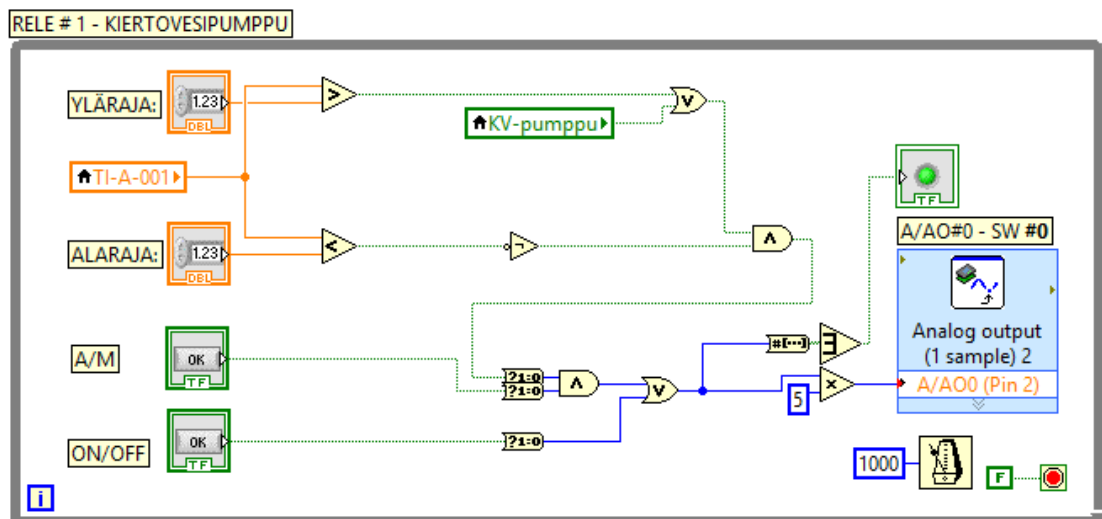


Kuvio 56. Releohjaus valvomonäytöllä.

Kuviossa 56. punaisella korostetulla alueella lämpötilanmittaus on $36,3^{\circ}\text{C}$. Jos rele ohjelmallisesti pistetään tekemään kytkentä tietystä lämpötilasta, johtaisi tämä ennen pitkää piirin ”värinä”. Värisevä piiri yrittää avautua ja sulkeutua niin nopeasti kuin fyysisesti pystyy mittauseron lähestyessä nollaa. Ennen pitkää rele hakkaisi itsensä pilalle, koskettimien kärjet palaisivat kiinni. Tästä syystä piiriin on rakennettu hystereesi- toiminto.

Esimerkkinä hystereesi-toiminnosta; piirin ollessa automaattilla, ylärajasta 35°C poistopumppu kytkeytyy päälle ja vastaavasti pysähtyy alarajasta 30°C . Tällä estetään releen ennenaikainen mekaaninen vioittuminen ja kärkeen kiinni palaminen.

Käytännössä myös tämä tarkoittaa sitä, että säiliön lämpötila yrittää pysyä $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ välissä. Ylä- ja alaraja on asetettavissa kulloisenkin tarpeen mukaisesti.

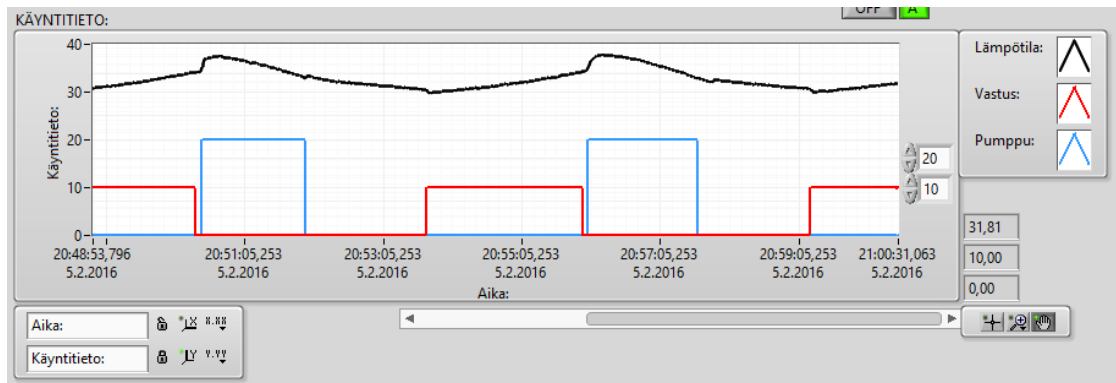


Kuvio 57. Kiertovesipumpun releohjaus.

Kuviossa 57. releohjaus näkymä ohjelman puolelta. Kiertovesipumpun ohjaamiseen käytetään mittaustietoa ja kahta raja-arvoa, ylärajaa ja alarajaa. Näitä tietoja vertaillaan ”GREATER”, ”OF”, ”AND” muuttujilla. Tieto muunnetaan myös numeerisesta arvosta totuusarvoksi.

”A/M” on automaatti/manuaali toiminto. Piirin ollessa automaattilla ja ylä- tai alarajan ylittyessä, annetaan pumpulle käynnistyskäsky. Kaikki ehdot voidaan ohittaa ”ON/OFF” painikkeella manuaalitilassa, jolloin pumppu saa suoraan käyntikäskyn.

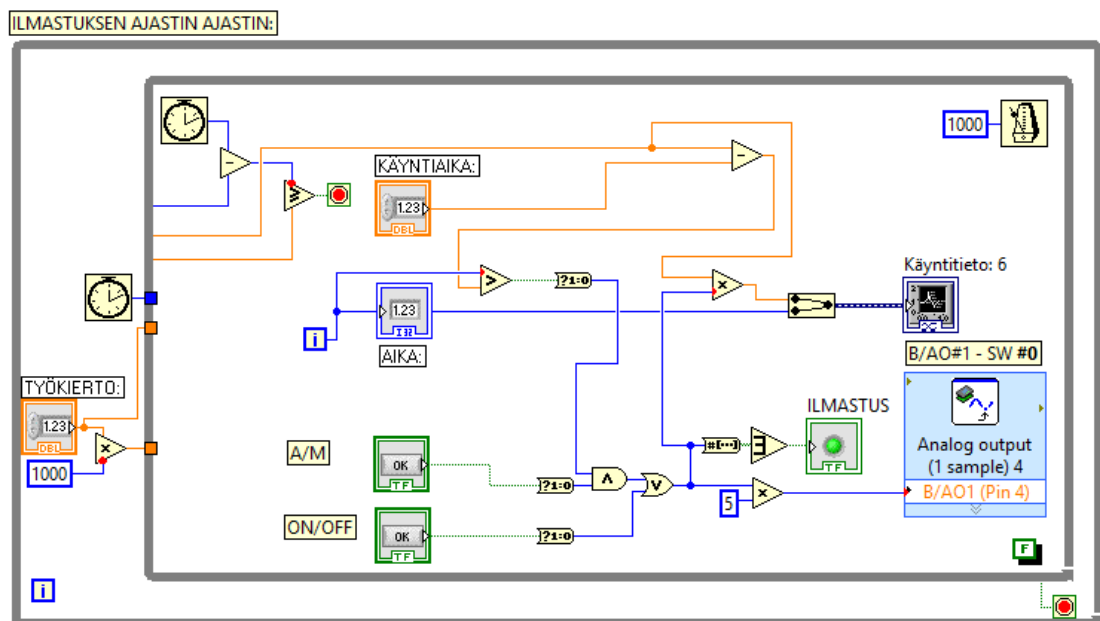
Käyntikäsky tässä tapauksessa tarkoittaa, että rele A/AO#0 vetää. A/AO#0 vetää ja ohjaa suuremman jännitteen releä R1.



Kuvio 58. Käyntiseuranta.

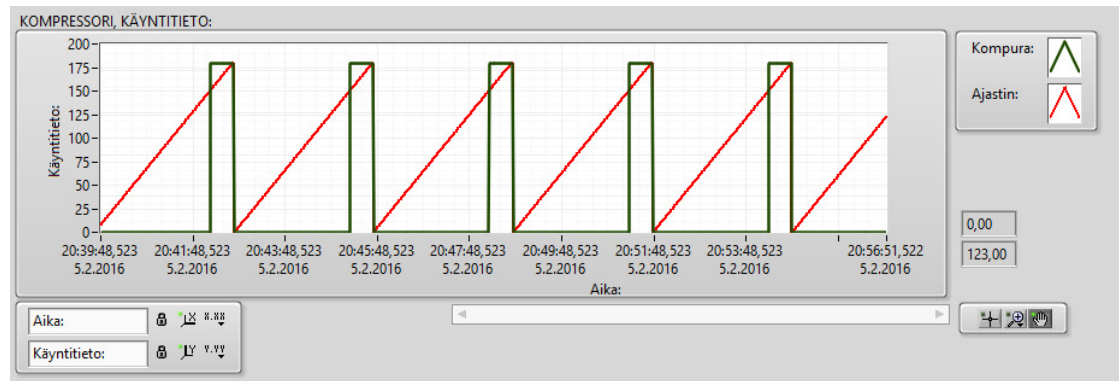
Käyntiseurannalla voidaan seurata laitteiden toimintahistoriaa. Esimerkkinä toiminnosta, Kuviossa 58. on esitetty kompostin uudelleen käynnistys häiriötilanteen jälkeen. Lämmitysvastus lämmittää kiertoveden asetettuihin asetusarvoihin ja tämän jälkeen kytkeytyy kiertovesipumppu siirtämään lämpöä kompostorin sisätiloihin.

Käyntiseuranta paljastaa helposti myös virheellisesti asetetut asetusarvot ja laitteen virheellisen toiminnan.



Kuvio 59. Ilmastuksen ajastinpiiri.

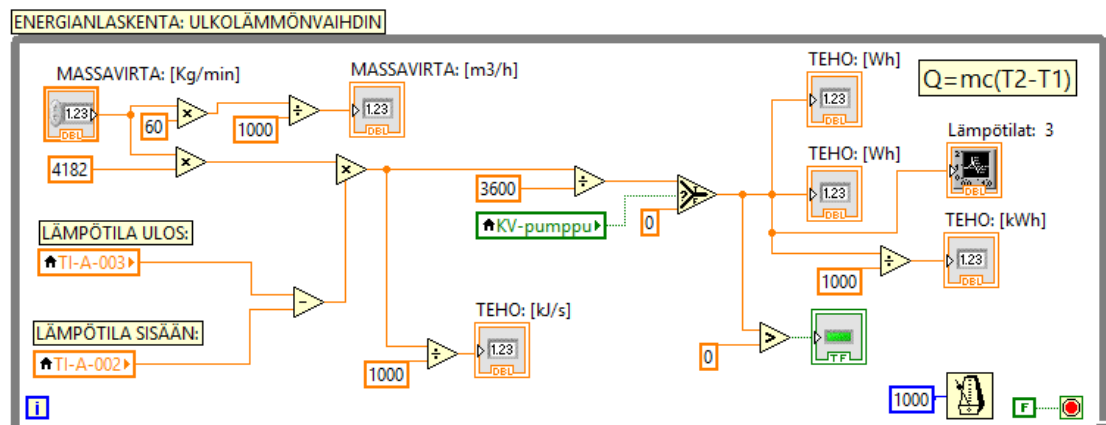
Ilmastuksen ohjaukseen asetetaan käynti- ja odotusaika. Piirin ollessa automaattilla, ilmastus on ajastettavissa olemaan käynnissä asetusarvon mukainen käyntiaika ja odottamaan asetusarvon mukainen odotusaika. Esimerkiksi ajastus voidaan asettaa käymään 1-10 minuutin välein. Kuviossa 59. esitetty ilmastuksen ohjelmalohko.



Kuvio 60. Ilmastuksen valvomo trendinäkömä.

Kuviossa 60. valvomonäytössä punaisella värillä näkyy käyntiaikalaskuri, jonka aika kasvaa. Odotusajan tullessa kohti loppua, ilmastuksen paineilmakompressor käynnistyy ja käy ennalta asetetun ajan. Ajan loputtua paineilmakompressor pysähtyy ja odotusajan laskenta alkaa alusta.

5.17.2 Energia



Kuvio 61. Uloimman lämmönvaihtimen energialaskenta.

Energian muutosta mittaa energialaskentalohko (kuvio 61). Jokaista energianlaskentaa varten on vastaavanlainen lohko. Näitä lohkoja on 3 kappaletta, ulkolämmönvaihdin, sisälämmönvaihdin, ja lämmön ulosotto. Lohkoon on rakennettu myös pumpun käyntitiedon huomioonotto. Pumpun käyntitiedon ollessa liitettynä lohkoon laskeaan energiaa, pumpun ollessa käynnissä.

Laitteistoon ei kuulu virtausmittareita. Massavirran suuruus tarkastetaan punnituksella ja säädetään käsiventtiileillä haluttuun arvoon. Punnitus korvataan myöhemmin virtausmittareilla.

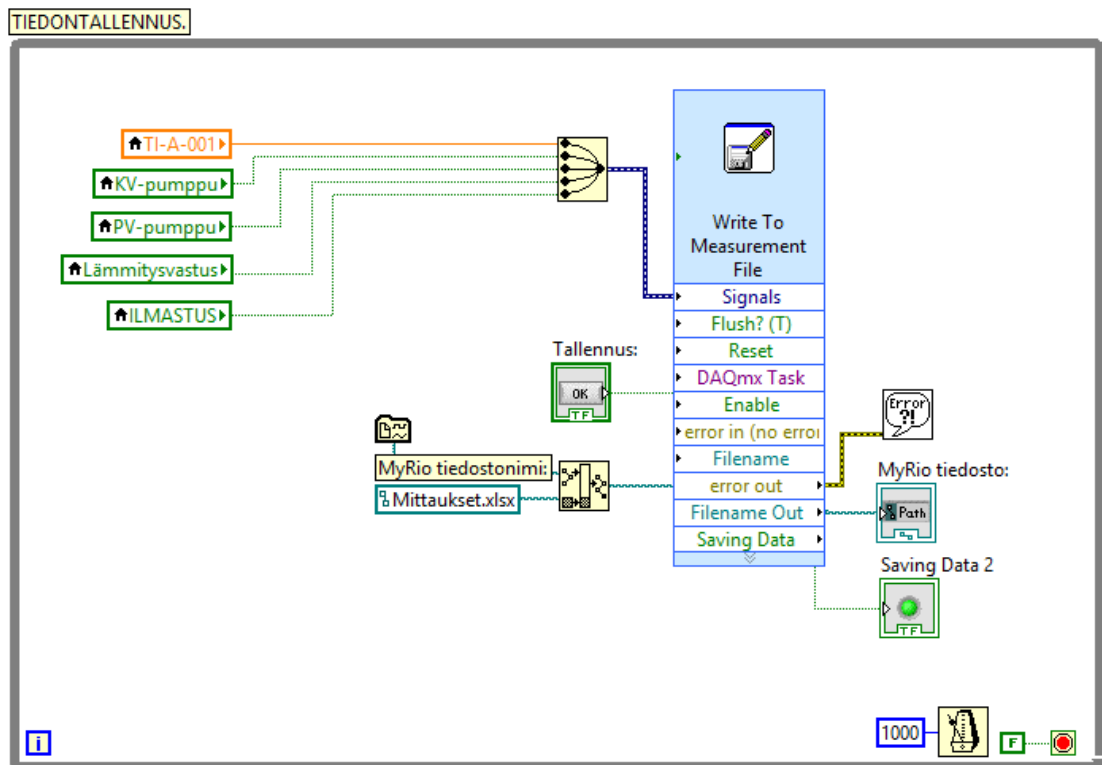
Sisään tulevien ja poistuvien nestevirtojen lämpötilat selvitetään mittauksilla. Kun lämpötila, massavirta ja veden ominaislämpökapasiteetti c tunnetaan, voidaan tästä laskea energiamäärä kaavalla: $Q = mc(\Delta T)$



Kuvio 62. Energian sisäinen ja ulosoton valvomonäyttö.

Valvomonäytössä numeeriset ja graafiset näytöt ilmaisevat energian siirtymisen tilaa (kuvio 62). Lisäindikaattorina nopeaan havainnointiin, vihreä taustaväri kertoo myös energian siirtymisestä. Kuviossa 62. olevassa esimerkkikuvassa energia siirtyy ulko- ja sisälämmönvaihtimista, mutta harmaana olevassa kierovesisäiliön lämmönulosotosta energiaa ei saada siirrettyä.

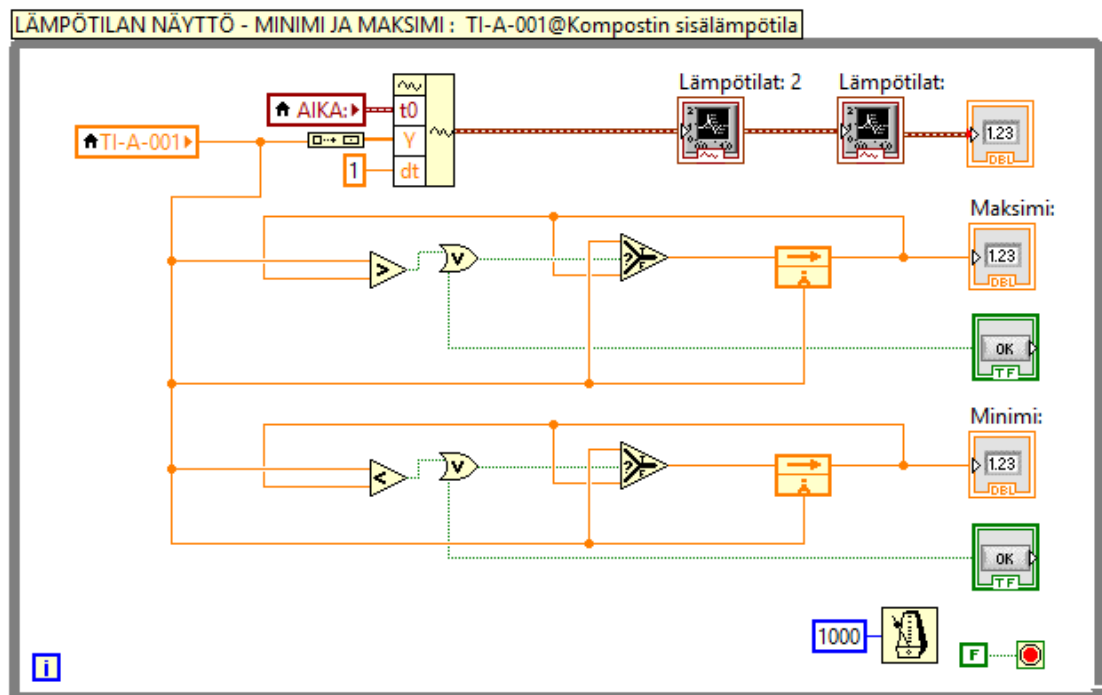
5.17.3 Tallennus



Kuvio 63. Tiedontallennus.

Tallennuslohkossa haetaan kompostin lämpötila ja laitteiden käytintiedot (kuvio 63). Nämä tiedot kootaan ja tallennetaan laitteen muistiin Microsoft Office Excel muotoon. Muistista tiedot ovat noudettavissa tietokoneelle analysoitavaksi ja jatkokäsiteltäväksi.

5.17.4 Muita piirejä



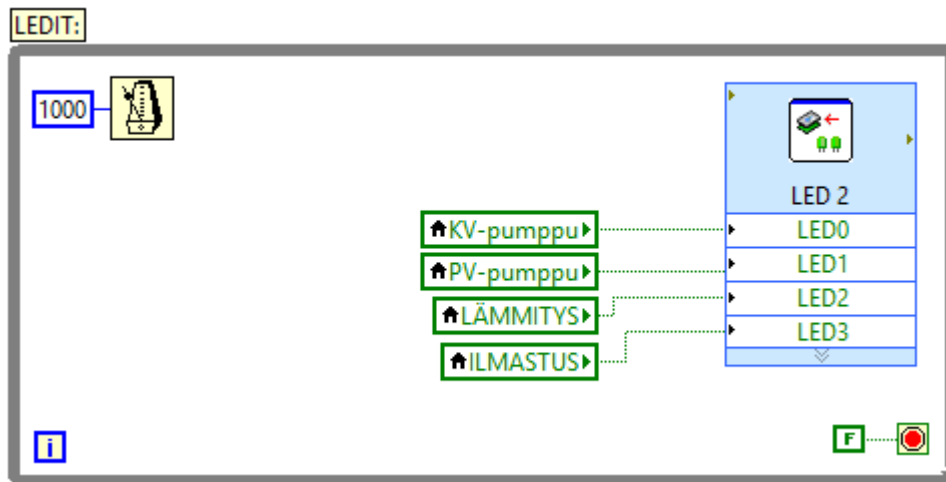
Kuvio 64. Minimien ja maksimien ohjelmalohko.

Lämpötilalle on rakennettu minimi- ja maksimilämpötilan näyttölohkon. Näitä lohkoja on rakennettu jokaiselle lämpötilan mittaukselle. Tässä nähtävänä mittauksen TI-A-001 minimi- ja maksimilohko.

The screenshot shows a control panel for temperature monitoring. It has a title 'A/AI#0 - TI01-001@Kompostin sisälämpötila'. Below the title, there are two rows of input fields: 'Input V:' with values '4,85' and '2,85415', and 'A/AI#0' with values '1,99341' and '1,99341'. To the right, there are two rows of output fields: 'R1' with value '9880' and 'R2' with value '6908,88'. On the far right, there are two columns of output fields: 'Maksimi: TI-A-001' with values '33,79' and '33,8', and 'Minimi:' with value '23,35'. Below these output fields, there are two 'RESET:' buttons. A red box highlights the 'Maksimi:' and 'Minimi:' output fields and their respective 'RESET:' buttons.

Kuvio 65. Minimien ja maksimien ohjelmalohko.

Tarkoituksena oli saada selville toimintalämpötilan kuumin ja kylmin piste ja tallentaa tieto numeroarvona. Kumpikin on nollattavissa toisistaan riippumatta (kuvio 65).



Kuvio 66. Merkkivalojen ohjaus.

MyRio sisältää 4 kappaletta sisäänrakennettuja merkkivaloja. Logiikan merkkivaloja ohjataan tällä piirillä (kuvio 66).

6 Kustannukset

Kustannuksia seurattiin automaation ja kompostorilaitteen rakentamisen osalta eriteltynä. Kustannuksia syntyi yhteensä hieman yli 2 000 €. Suurimmat yksittäiset kustannukset syntyivät automaatiolaitteiston ja sen oheislaitteiden hankinnasta.

Mittauslaitteiston toimintakuntoon saattaminen maksoi noin 900 euroa tarvikkeineen (kuvio 67). Mittauslaitteiston kustannuksia nosti moottorinohjauslaajennuskortin hankinta, joka myöhemmin osoittautui virheelliseksi.

Mittauslaite ja ohjelmisto on hankittu opiskelijahintaan suoraan valmistajalta. Netissä tätä kyseistä mittalaitetta myydään 2 183 dollarin hinnalla (1 998 €). Mittauslaitteelle jäi opiskelijahintaa 367,54€.

Laajennuskortit on tilattu suoraan kortteja valmistavalta Digilent yritykseltä USA:sta. Myös joitakin kytkentälevyjä tuli suoraan National Instrumensiltä.



Kuvio 67. Kustannukset.

Kompostin rakentamisen suurimmat kustannukset syntyivät Finnfoam-levystä. Hintaa levyille tuli noin 300 €. Pullouretaania meni yli 40 pulloa, kustannuksen ollessa noin 250 €.

Lämmönvaihtimien hinnaksi putken materiaalin osalta 273€. Putket on hankittu 2-laatuksena nettihuutokaupasta. 2-laadulla ei tässä ollut merkitystä, koska laatuvirhe kohdistui putken suojakuoreen, joka on poistettu. Loput kustannukset syntyivät pien-tarvikkeista.

7 Pohdinta

Teoriassa komposti voi lämmitä 80°C lämpötilaan ja jäädyttämällä komposti pidentään 35°C lämpötilassa. Tästä lämpötilaerosta pystytään tuottamaan teoriassa kiinteistön lattialämmityksen tarvitsemaa lämpöä.

Lämmön syöttäminen vesi/ilmalämpöpumpulle on myös mahdollista. Tämä ratkaisu nostaisi koko kompostiajattelun uudelle tasolle.

Pohjatutkimus rakennetulla laitteistolla mahdollistaisi teoreettisen skaalauksen ja selvittämisen, kuinka paljon kompostilavuutta tarvittaisiin pienrakennuksen lämmitämiseen. Tähän tarvittaisiin tietoa siitä, kuinka paljon lämpöä on saatavissa ja kuinka

paljon sitä tarvitaan. Tarkemman laskennan suorittaminen on tässä vaiheessa turhaa koska mittaustuloksia lämmöntuotosta ei ole olemassa.

Opinnäytetyön jälkeen on tarkoituksena selvittää rakennetulla laitteistolla puuhakkeen/kuoren soveltuvuus lämmöntuotantoon. Tämä suoritetaan rakennetun laitteiston avulla ja selvitetään puuhakekompostin soveltuvuus lämmöntuotantoon pienrakennus kokoluokassa. Myös laitteen hyötysuhteen pääsee selvittämään vasta tässä vaiheessa.

Tarkoitus on löytää optimaalinen toimintalämpötila kompostille niin, että energiaa saadaan ulos ja selvittää millainen määrä lämpöenergiaa on otettavissa 1 m³ tilavuudesta. Myös ravinnon optimointi suoritetaan. Puupitoinen hyvin hiilipitoinen ravinto tarvitsee tuekseen typpipitoisen ravinteen.

Ajatuksena on myös myöhemmin tuottaa biomassasta ensin biokaasua ja vasta tämän jälkeen kompostoida jäljelle jäänyt massa ja ottaa lämpö talteen. Tämä poistaisi biokaasureaktoreiden aiheuttaman lietteen levitysongelman ja biomassan energiapotentiaali hyödynnetään täysimääräisesti. Myös kompostin tuottaman lämmön voisi hyödyntää biokaasureaktorin tarvitsemaan lämmitykseen. Jäljelle tästä yhdistelmästä jäisi lähes kuiva lannoite. Uusi mittalaitteisto rakennetaan Siemens LOGO 8:n ympärille. Esisuunnittelu tästä on käynnissä.

7.1 Logiikka

Laitteiston laajennettavuus on yksi tärkeimpiä ominaisuuksia laitteiston toimintojen laajentuessa. Ni MyRio rajoitteet analogitulojen ja analogilähtöjen määrässä häiritsevät laitteen suunnittelua. Ni myRion kautta on kuitenkin helppo tutustua logiikan toiminnalliseen maailmaan.

Parempi valinta mittalaitteeksi olisi Siemensin LOGO! 8. Sen myös saa myös graafisella käyttöliittymällä ainakin versiosta 8 eteenpäin.

Automaatio puolelle suunniteltiin alun perin huomattavasti enemmän mittauksia. Ajatuksena oli luoda ”silmit” laitteen sisään käyttämällä 9 lämpötilamittausta pelkistään laitteen lämpöprofiilin luomiseen.

Tästä ajatuksesta on kuitenkin luovuttu, kun mittalaitteen realiteetit tulivat vastaan. Analogitulojen määrä on rajallinen ja ne jouduttu käyttämään perustoiminnoille. Mistään kriittisestä mittauksesta ei kuitenkaan tarvinnut luopua.

NI myRio c-portin (MSP) mittaukset vaeltivat epäsäännöllisesti ja antoivat epäuskottavia tuloksia. MSP c-portin käytöstä on luovuttu kokonaan. Käytännössä tämä tarkoitti muutaman AI ja AO:n menettämistä.

Laitteistossa on vielä digitaali- input/outputit käyttämättä, joten tässä on looginen seuraava kehityssaskel luoda virtausmittaukset toimimaan pulssitoimisesti digitaali-inputtien kautta. Digitaaliulostulot olisivat olleet hyödynnettävissä releohjauksia varten, mutta ne jäivät hyödyntämättä.

Labview ohjelmointiympäristössä ei tullut vastaan rajoitteita. Kaikki tarvittavat mittaukset, ohjaukset ja säädöt saatiin tällä toteutettua.

7.2 Lämmönvaihtimet

Lämmönvaihtimet suunniteltiin alun perin kuparista. Kustannussyistä kupariset lämmönvaihtimet on korvattu muovisilla. Kuparista rakennetuille lämmönvaihtimille olisi tullut hintaa yli 1 500 €.

Kupari materiaali on korvattu PEX- putkella, mikä on lämmönsiirto- ominaisuuksiltaan huonompi, mutta 5 kertaa edullisempi. PEX-putken toiminnasta kompostorissa ei ole varmuutta, mutta muoviputkesta rakennetaan normaalisti muun muassa lattialämmityspiirit asuintaloihin.

Tulevissa suunnitelmissa on korvata sisempi lämmönvaihdin kuparisella lämmönvaihtimella. Seuraavasta sisälämmönvaihtimesta tulee myös 10-15 cm halkaisijaltaan suurempi.

Virtaavan nestemäärien hallinnassa on tällä hetkellä omat heikkoutensa. Tarkemmin sanottuna, massavirta saadaan säädettyä hyvinkin tarkaksi käsiventtiileillä. Ongelma tulee siitä, jos virtausta muutetaan, joudutaan tarkastuspunnitus suorittamaan ja syöttämään ohjelmaan uusi massavirta. Punnitus on mahdollista korvata virtausmittareilla. Pulssityyppinen virtausmittaus voidaan liittää vapaana oleviin digitaalituloihin.

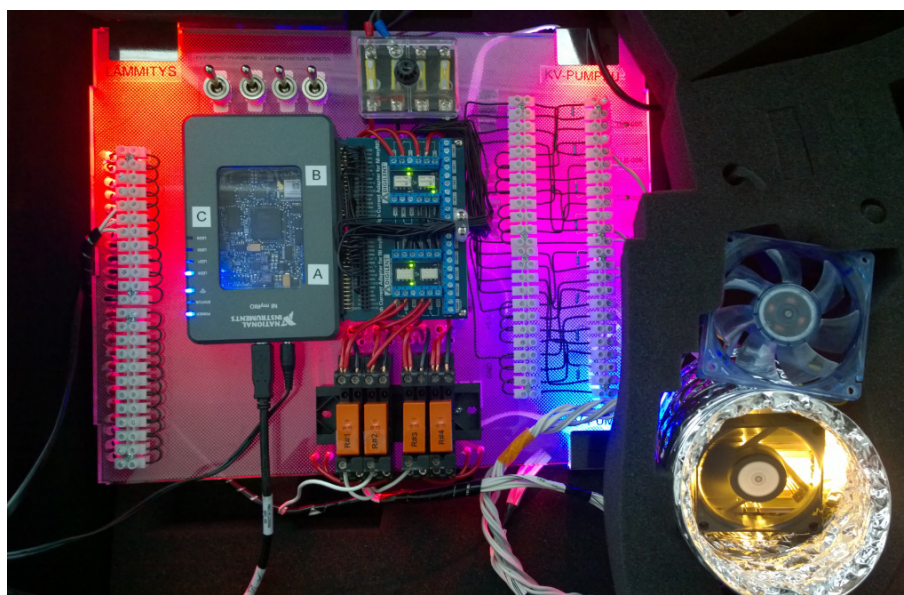
Lämmitysvastukseksi tulee termostaatilla varustettu lämmitysvastus, joka käynnistyy tarvittaessa myös ilman logiikkaa. Sen on myös kyettävä sammuttamaan itsensä termostaatin ohjaamana logiikan ollessa mahdollisessa häiriötilassa.

7.3 Yhteenveto ja tulokset

Opinnäytetyön tavoitteeksi aluksi kaavailtiin koko laitteiston rakentamista ja toteutuneiden mittausten esittelyä. Tämä olisi ollut työnkokonaisuuden kannalta mielenkiintoisempaa, mutta ajallisesti haasteellista. Tavoitteet myöhemmin kevennettiin koulun aloitteesta koskemaan vain automaatiojärjestelmää ja tavoitteeksi tällöin asetettiin rakentaa toimiva automaation prototyyppi kytkentöineen.

Työssä rakennettiin ja dokumentoitiin koemittauslaitteiston automaatio puuhakkeen/kuoren kompostonnista saatavan lämpöenergiapotentiaalin mittaamiseen ja määrittämiseen. Kompostointilaitteiston rakentaminen jäi tämän työn ulkopuolelle kevyttä rakentamisen esittelyä lukuunottamatta. Itse kompostoria on rakennettu työn rinnalla ja rakentaminen jatkuu automaation asentamisella.

Laitteiston ohjaukseen rakennettiin automaatio, joka kykenee ohjaamaan kahta pumppua, yhtä paineilmakompressoria ja lämmitysvastusta. Käytettäviä lämpötilamittauksia on 8 kappaletta. Laitteiston ohjaukseen rakennettiin automaattinen, etäkäytettävä ja operoitavissa oleva logiikka, valvomonäyttöineen.



Kuvio 68. Automaatio pakattuna kuljetuslaukkuun odottamaan asennusta.

Automaation toteutus onnistui paremmin, kuin lähtötilanteessa olisi uskaltanut odottanut. Vaikka rakentaminen ja ohjelman toimintakuntoon saattaminen oli loppujen lopuksi huomattavasti suurempi työmaa kuin alussa oli arvioitu. Mittauslaitteen valmiiksi rakentamiseen ja kompostorin osittaiseen (80%) valmiuteen saattamiseen kului aikaa vuosi.

Mittauksien ja säätöpiirien toiminta ohjauksineen on todennettu fyysisillä laitteilla, jotka mallintavat tulevaa loppusijoituskohdetta laitteineen. Mallinnus on tehty mahdollisimman yksinkertaiseksi. Lämmitysvastuksen tehtävää hoitaa hehkupolttimo ja jäähdytyspumppuina ovat toimineet tuulettimet, joita ruokitaan 12V jännitelähteellä (kuvio 68).

Suurimmat haasteet löytyivät ylivoimaisesti automaatiopuolelta. Uuden ohjelmointikielen ja laitteiston opetteleminen ottaa aina oman aikansa. Omat haasteet olivat myös rahoituksessa. Projektissa kustannukset ovat yli 2 000 €.

Arvioidusta loppubudjetista on tässä vaiheessa käytetty 70-80%. Tulevat kustannukset syntyvät pumpuista, vastuksesta, kiertonesteestä ja putkistokytkennöistä. Putkistokytkennät ovat suurimmaksi osaksi rakennettu.

Lopputuloksena on rakennettu automaatioprototyyppi, joka toimii suunnitellulla tavalla ja kykenee hoitamaan sille annetut tehtävät itsenäisesti. Mittalaitteiston kaikkien toimintojen ja säätöpiirien toimivuus on testattu.

Lähteet

Ahoranta, J. 2002. Sähkötekniikka. 1-5. p. Porvoo WSOY

Biolan pikakompostori 220eco, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet. Eura. Biolan Oy.
http://www.biolan.fi/image/ymparisto/kayttoohjeet/5790_92_kayttoohje_fi.pdf

Biolan Pikakompostori 550, Asennus-, käyttö ja huolto-ohjeet. Eura. Biolan Oy.
http://www.biolan.fi/suomi/ohjeet/5726_34_kayttoohje_fi/

Biopolttoaineiden lämpöarvoja. Viitattu 5.4.2016. Motiva
http://www.motiva.fi/toimialueet/uusiutuva_energia/bioenergia/tietolahteita/biopolttoaineiden_lampoarvoja

Finnfoam-lämmöneristyslevyjen tekniset tiedot, Salo. Finnfoam Oy. Viitattu 5.3.2016.
http://www.finnfoam.fi/files/2614/0981/4326/Finnfoam_tekniset_tiedot_1.9.2014.pdf

Henco Technical manual. Viitattu 5.4.2015, Herentals, Belgia. Henco.
http://www.henco.be/web/assets/downloads/Technical_Manuals/DO03-0005EN00.pdf

High Current Adapter for NI myRIO. 08.09.2015, Pullman, United States. Digilent Inc.
https://reference.digilentinc.com/ni:mxp_high_current_adapter:refmanual

High Current Adapter for NI myRIO. Digilent Inc. Viitattu 3.2.2016.
<http://store.digilentinc.com/high-current-adapter-for-ni-myrio/>

Koostumus ja rakenne, Finnfoam. 2016. Salo. Finnfoam Oy. Viitattu 5.3.2016.
<http://www.finnfoam.fi/tuotteet/finnfoam-eristelevyt/koostumus-ja-rakenne/>

Kupariputket – käyttövesi-, lämmitys-, aurinkolämpö-, Jäähdytys ja kaasuputkistoihin. Marraskuu 2013. Pori. Cupori Oy http://www.cupori.com/files/cupori/brochures/RT-4s_Cupori_Oy_web.pdf

Mitä kompostointi on? Viitattu 25.2.2016. Eura. Biolan Oy.
http://www.biolan.fi/suomi/default4.asp?active_page_id=523

Mätäneminen, Iso Focus, 1973. Otava. ISBN 951-1-00170-0.

Muovit rakentamisessa, Eps-eristeet. Simo Hoikkala. Suomen muoviteollisuudenliittory. Viitattu 5.3.2016. <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK00s705.pdf>

NI Labview. Viitattu 9.2.2016. National Instruments. <http://finland.ni.com/labview>

NTC Thermistors, Radial Leaded, Standard Precision. 2012. United states. Vishay Intertechnology, Inc. Vishay. <http://www.vishay.com/docs/29049/ntcle100.pdf>

NTC Thermistors. Vishay bccomponents. 2012. United states. Vishay Intertechnology, Inc. Vishay. <http://www.vishay.com/docs/29053/ntcintro.pdf>

Resistorguide.com. Viitattu 3.2.2016. <http://www.resistorguide.com/what-is-a-resistor/>

Resistorguide.com. Viitattu 3.2.2016. <http://www.resistorguide.com/ntc-thermistor/>

Eloperäinen aines hajoaa maassa. Ruokatieto, viitattu 11.4.2016.
<http://www.ruokatieto.fi/ruokakasvatus/ruokaketju-ruuan-matka-pelloilta-poytaan/luonto/maapera/eloperainen-aines-hajoaa-maassa>

Socket illustration, PI-35BE. 2012. United Kingdom.Goosky, Impulse Automation Ltd. Viitattu 5.3.2016. <http://www.goodsky.co.uk/datafiles/goodskysockets.pdf>

Thompson, K. Compost 2007. Compost. Dorling Kindersley Limited. Gummerrus.

Tuominen, K. Kaikki kompostoinnista 2008. 5 painos. Helsinki. Minerva kustannus

Mätäneminen, Tieteen Termipankki, viitattu 11.4.2016.
<http://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:m%C3%A4t%C3%A4neminen>

Usein kysyttyä, Biolan Oy. Viitattu 11.4.2016.
<http://www.biolan.fi/suomi/kompostorit/usein-kysyttyae2/pikakompostori-220-eco>

User guide and specifications, NI myRIO-1900. 2013. Austin, Texas: National Instruments. Viitattu 26.1.2015. <http://www.ni.com/pdf/manuals/376047a.pdf>.

Vastus 10k Ω 0,25W \pm 0,1%. 2016. Suomi, ELFA. <https://www.elfadistelec.fi/fi/vastus-10-kohm-25-arcol-mra0207-10k-15ppm-ta/p/11047183>